

**AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR ZAHN-, MUND- UND  
KIEFERHEILKUNDE  
DES FACHBEREICHS MEDIZIN  
DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG**

Geschäftsführende Direktorin: Prof. Dr. Heike Korbmacher-Steiner

Abteilung für Zahnerhaltungskunde

Direktor: Prof. Dr. R. Frankenberger

**EINFLUSS DES INTERNEN BLEACHINGS AUF DEN  
HAFTVERBUND VON ZWEI VERSCHIEDENEN  
BEFESTIGUNGSKOMPOSITEN**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich Medizin  
der Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt von

**Patricio Maximilian Koberg**  
aus Minden

Marburg, 2016

**AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR ZAHN-, MUND- UND  
KIEFERHEILKUNDE  
DES FACHBEREICHS MEDIZIN  
DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG**

Geschäftsführende Direktorin: Prof. Dr. Heike Korbmacher-Steiner

Abteilung für Zahnerhaltungskunde

Direktor: Prof. Dr. R. Frankenberger

**EINFLUSS DES INTERNEN BLEACHINGS AUF DEN  
HAFTVERBUND VON ZWEI VERSCHIEDENEN  
BEFESTIGUNGSKOMPOSITEN**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich Medizin  
der Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt von

**Patricio Maximilian Koberg**  
aus Minden

Marburg, 2016

Angenommen vom Fachbereich Medizin der  
Philipps-Universität Marburg am: 1.12.2016

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Herr Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Herr PD Dr. M. Roggendorf

1. Korreferent: Herr Prof. Dr. U. Lotzmann

Dedicado a la familia

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht .....</b>	<b>3</b>
2.1	Aufbewahrung von extrahierten Zähnen.....	3
2.2	Gründe für Zahnverfärbungen.....	3
2.3	Bleichen von Zähnen.....	5
2.3.1	Bleichmittel / im Speziellen: Natriumperborat .....	5
2.3.2	Einfluss des Bleichens auf die Zahnhartsubstanzen.....	6
2.3.3	Die Walking-Bleach-Technik.....	7
2.4	Stiftversorgungen .....	10
2.4.1	Herstellungsmethoden von Stiftaufbauten .....	10
2.4.2	Stiftmaterialien .....	12
2.4.3	Stiftdesign.....	13
2.5	Stumpfaufbauten mit Core Build-up-Materialien .....	16
2.6	Befestigungskomposite .....	16
2.6.1	<i>Bifix SE</i> .....	18
2.6.2	<i>Rebilda DC</i> .....	18
<b>3</b>	<b>Material und Methode.....</b>	<b>20</b>
3.1	Versuchsdesign .....	20
3.2	Versuchsvorbereitung .....	21
3.3	Wurzelkanalaufbereitung .....	21
3.4	Internes Bleaching.....	22
3.5	Neutralisation .....	22
3.6	Vorbereitung der Stahl-Spreader.....	23
3.7	Zementieren der Spreader .....	23
3.8	Die Pull-out-Analyse.....	24
3.9	Statistische Auswertung.....	26
3.10	Klassifizierung der Frakturmodi .....	26

<b>4</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>28</b>
4.1	Ergebnisse der Pull-out-Kräfte in Gruppe 1: <i>Bifix SE</i> .....	29
4.2	Ergebnisse der Pull-out-Kräfte in Gruppe 2: <i>Futurabond U/ Rebuilda DC</i> .....	30
4.3	Ergebnisse der Analyse der Frakturmodi .....	31
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>34</b>
5.1	Diskussion der Methode.....	34
5.2	Diskussion der Ergebnisse .....	39
5.3	Schlussfolgerung und klinischer Ausblick.....	41
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>42</b>
6.1	Zusammenfassung (deutsch) .....	42
6.2	Abstract (englisch) .....	44
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>Materialverzeichnis .....</b>	<b>61</b>
<b>10</b>	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>63</b>
10.1	Abbildungen.....	63
10.2	Tabellen.....	63
<b>11</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>64</b>
<b>12</b>	<b>Verzeichnis der akademischen Lehrer .....</b>	<b>65</b>

## 1 Einleitung und Zielsetzung

In der Zahnheilkunde kommt heutzutage dem Aspekt der Ästhetik, vor allem im Bereich der „social sixt“, eine immer größere Rolle zu. Vor diesem Hintergrund stellen vor allem devitale Zähne den Zahnarzt vor große Herausforderungen.

Devitale Zähne sind zum einen wurzelkanalbehandelt oder erfordern dies und gehen oft mit einer Zahnhartsubstanzschwächung einher.

Ein weiteres Problem stellt die Zahnverfärbung von markteten Zähnen dar. Ein Grund für Zahnverfärbungen sind intrinsische Faktoren, zu denen auch die lokalen Ursachen zählen. Dazu zählen beispielsweise: Pulpanekrose, Pulpenrückstände nach endodontischer Behandlung, endodontisches Material, interne Resorption und der Alterungsprozess des Zahnes [95]. Die Therapie dieser Verfärbungen gestaltet sich aufwändiger als die von externen Verfärbungen und erfolgt bei endodontisch behandelten Zähnen mit der Walking-Bleach-Technik.

Bei dieser Technik wird der Zahn von innen heraus durch eine Einlage in das Pulpenkavum schrittweise bis zu dem gewünschten Ergebnis aufgehellte. Nach aktuellem Stand wird hierfür das Bleichmittel Natriumperborat verwendet [65]. Es gibt zudem die Möglichkeit, nach erfolgtem Bleichen eine Calciumhydroxideinlage einzubringen, um das saure Milieu, das durch den Bleichvorgang entsteht, zu neutralisieren [36]. Hierbei scheint klar, dass das Bleichen einen gewissen Einfluss auf die Zahnhartsubstanz sowie auf den Haftverbund zu dieser hat, wenngleich die Studien dazu kein einheitliches Bild abgeben [5,39,156,159,160].

Um den so aufgehellten Zahn weiter zu versorgen, erfolgt je nach Zerstörungsgrad der klinischen Krone der Aufbau mit Komposit oder das Setzen eines Stiftes zur Retention des Aufbaus [135]. In jüngerer Zeit kommen neuere Befestigungskomposite bzw. Core-Build-up-Materialien auf den Markt, mit denen der Zahn stabil aufgebaut werden kann und das Setzen eines Stiftes nicht zwangsläufig erforderlich ist [112,122].

In der Beurteilung und Testung von Haftverbunden zwischen Zahnhartsubstanzen und Kompositen existiert bis heute kein einheitlicher Standard, was Parameter und

Testverfahren anbelangt. So gibt es eine Reihe von Methoden, den Haftverbund zu testen, die alle gewisse Vor- und Nachteile haben [38].

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Stärke des Haftverbundes von Bifix SE, einem selbstadhäsiven dualhärtenden Befestigungskomposit, und Rebilda DC, einem dualhärtenden Befestigungskomposit, zum Dentin zu ermitteln. Dies geschah in Abhängigkeit davon, ob das Dentin zuvor gebleicht oder gebleicht und danach neutralisiert wurde. Hierzu wurde die modifizierte Pull-out-Methode nach Ebert et al. verwendet [42].

*Im Rahmen dieser Studie sollen folgende Nullhypothesen untersucht werden:*

Das Bleichen mit Natriumperborat hat keinen Einfluss auf den Haftverbund zwischen Befestigungskomposit und Dentin.

Die Neutralisation, des zuvor gebleichten Dentin mit Calciumhydroxid hat keinen negativen Einfluss auf den Haftverbund.



## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Aufbewahrung von extrahierten Zähnen

Für *In-vitro*-Studien und Versuche zu zahnmedizinischen Fragestellungen ist es oft notwendig, auf extrahierte Zähne zurück zu greifen. Da das Sammeln der Zähne oft nicht mit dem Zeitpunkt des Studienbeginns zusammen fällt, muss man sie bis dahin zwischenlagern. Auch während eines Versuches ist es häufig unabdingbar, Zähne über einen gewissen Zeitraum unter bestimmten Bedingungen aufzubewahren. Gul et. al zeigten 2006, dass die Dauer der Lagerung keinen Effekt auf den Haftverbund zum Schmelz hat [64]. Um die Zähne wissenschaftlich gebrauchen zu können, ist eine Dekontamination notwendig. Hierfür kommen neben den Lösungen Formalin, Natriumhypochlorit, Chloramin, Thymol, Alkohol und Glutaraldehyd auch die Sterilisation mittels Autoklaven oder  $\gamma$ -Bestrahlung in Frage [154]. Möchte man Zähne nur aufbewahren, reicht es aus, sie in destillierten Wasser oder NaCl zu lagern. Eine weitere Methode stellt das Einfrieren dar. Einige Studien weisen darauf hin, dass durch die Lagerung oder Dekontamination durch verschiedene Verfahren die Haftstärke am Dentin herabgesetzt werden kann. Dies gilt für: die  $\gamma$ -Bestrahlung, den Autoklaven, Thymol, Natriumhypochlorit, Methanol und Glutaraldehyd [66,89,154]. Die Wiederbefeuchtung von ausgetrockneten Zähnen scheint keinen Einfluss auf die Haftstärke am Dentin zu haben [104]. Für die Lagerung und Dekontamination kann auch auf Natriumazid zurückgegriffen werden, das z.B. mit NaCl-Lösung verdünnt in geringer Konzentration bakterizid wirkt [27].

### 2.2 Gründe für Zahnverfärbungen

Für den Zahnarzt ist es wichtig, die Ätiologie der Zahnverfärbung zu verstehen, um eine korrekte Diagnose zu stellen und im Weiteren den passenden Therapieweg einzuschlagen [165].

Den größten Einfluss auf die Zahnfarbe hat der Dentinkern, während der Schmelz nur im blauen Spektrum eine Rolle spielt [153]. Die Dicke des Dentins und Schmelzes bestimmen die Opazität oder Transparenz des Zahnes [46]. Mit zunehmendem Alter und voranschreitender Abrasion reduziert sich die Schmelzstärke und somit die Transparenz, und der Zahn verändert die Farbe von weißgelb zu braun [46]. Jede

Veränderung der Pulpa, des Dentins oder des Schmelzes kann einen Einfluss auf die Lichtleitung des Zahnes und somit auf die Farbe haben [78].

Die Faktoren, die zu Verfärbungen führen können, kann man in extrinsische und intrinsische unterteilen [70]: Die extrinsischen Faktoren lassen sich wiederum in zwei Gruppen unterteilen: Zum einen gibt es die direkte Variante, bei der chemische Verbindungen, die sich in das Zahnpellikel einlagern, durch ihre eigene Farbe zu Verfärbungen führen. Zum anderen führen bei der indirekten Variante Substanzen durch ihre chemische Interaktion mit der Zahnoberfläche zur Verfärbung dieser [95]. Zu den direkten zählen beispielsweise Tee, Kaffee, das Tabak Rauchen oder Kauen, aber auch Zahnplaque oder Essensreste. 1971 beschrieb Flötra *et. al* den Zusammenhang zwischen chlorhexidinhaltigen Mundspülungen und Zahnverfärbung, was als Beispiel für den indirekten Weg dienen soll [50]. Die extrinsischen Verfärbungen lassen sich in aller Regel durch eine professionelle Zahnreinigung entfernen [67].

Auch die intrinsischen Faktoren werden noch einmal unterteilt. Zum einen in die systemischen und zum anderen in die lokalen Ursachen.

**Tab. 1:** Systemische Ursachen der Zahnverfärbungen [165]:

Art	Beispiel
Medikamentös bedingt	Tetracycline
Stoffwechsel bedingt	Dystrophe Kalzifikation Fluorose
Genetisch bedingt	Gunther Krankheit Mukoviszidose Hyperbilirubinämie Amelogenesis imperfecta Dentinogenesis imperfecta

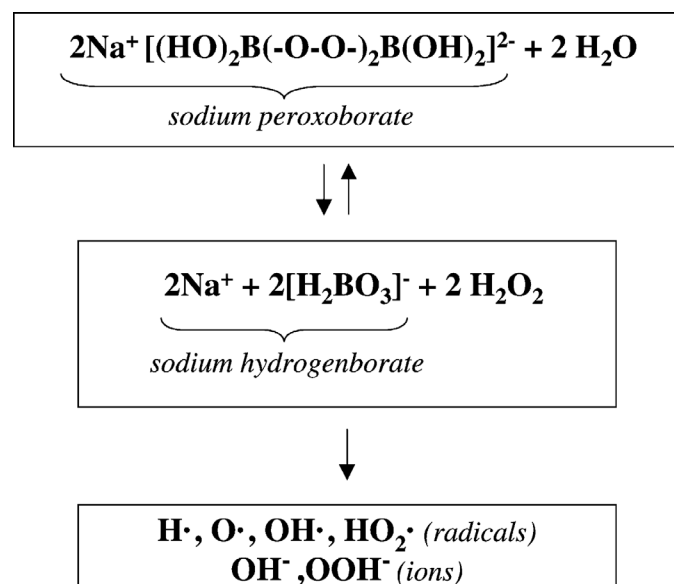
Zu den lokalen Ursachen zählen: Pulpanekrose, intrapulpuläres Hämatom, Pulpenrückstände nach endodontischer Behandlung, endodontisches Material, Füllungsmaterial, Wurzelresorptionen, interne Resorption und der Alterungsprozess [95]. Die Therapie intrinsischer Verfärbung gestaltet sich aufwändiger als die der extrinsischen. Für die systemischen Ursachen kommt meist nur eine prothetische Lösung in Frage [32,164]. Die Verfärbungen durch lokale Ursachen kann man durch

das Bleichen von endodontisch behandelten Zähnen (non-vital Bleaching) oder im Falle des Alterungsprozesses durch vital-Bleaching in aller Regel in den Griff bekommen [114,151].

## 2.3 Bleichen von Zähnen

### 2.3.1 Bleichmittel / im Speziellen: Natriumperborat

Für das Bleichen von wurzelkanalgefüllten Zähnen nutzt man die chemischen Eigenschaften von Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ), das unter Einfluss von pH-Wert, Lichteinwirkung und Temperatur in verschiedene Radikale, Perhydroxylionen und Hydroxylionen zerfällt [61]. Die freiwerdenden Radikale können Chromogene und Metalloxide zu farblosen Substanzen umsetzen und so eine Aufhellung des Zahnes bewirken [91]. Das Bleichen mit reinem  $H_2O_2$  in einer Konzentration zwischen 5-35% kann aus heutiger Sicht allerdings nicht mehr empfohlen werden. Zum einen ist damit eine erhöhte Gefahr für Wurzelresorptionen verbunden [93,124]. Es wird vermutet, dass die Diffusion von  $H_2O_2$  die Dentinkanäle eröffnet und eine anschließende Bakterienansiedlung erleichtert, was in einen entzündlich-resorptiven Prozess mündet und letztlich zur Wurzelresorption führt [33].



**Abb. 1:** Reaktion Natriumperborat mit Wasser [125]

Zum anderen wird dem Wasserstoffperoxid durch die Radikalbildung und dem niedrigen pH-Wert eine Gewebeschädigung nachgesagt [54,99]. Die thermokatalytische Methode, bei der hochkonzentriertes  $H_2O_2$  auf Temperaturen von 37° bzw.

50° erhitzt wird, ist aus heutiger Sicht ebenfalls nicht empfehlenswert, da diese zu einer geringeren Oberflächenmikrohärte von Dentin und Schmelz führt [90]. Um die Eigenschaften des Wasserstoffperoxids zu nutzen und die Risiken zu minimieren, ist es heute üblich, Bleichmittel zu benutzen, die Wasserstoffperoxid durch eine chemische Reaktion freisetzen. Dazu zählen Carbamidperoxid [16] und Natriumperborat [65]. Natriumperborat gemischt mit Wasser setzt Wasserstoffperoxid frei und dem oben beschriebenen Bleichvorgang steht nichts mehr im Wege. Es gibt weiterhin die Möglichkeit, Natriumperborat mit einer 3%igen  $H_2O_2$  Lösung zu versetzen. Allerdings zeigen Studien bei letzterer Variante keinen Vorteil hinsichtlich Effektivität [125,166] und Qualität [126]. Der Vorteil der Natriumperborat-Methode liegt darin, dass weniger  $H_2O_2$  durch die Dentintubuli diffundiert [168]. Weiterhin liegt auch der pH-Wert (pH 10-11) wesentlich höher als bei einer Mischung von Natriumperborat und 30%igem  $H_2O_2$  (pH 7-8), bzw. reinem 30%igem  $H_2O_2$  (pH 2-3) [167].

### 2.3.2 Einfluss des Bleichens auf die Zahnhartsubstanzen

Neben den oben genannten Einflüssen, wie der Herabsetzung des pH-Wertes und die damit verbundene Gefahr der Wurzelresorption, sowie die geringere Oberflächenmikrohärte des Dentins bei der thermokatalytischen Methode, wurden noch weitere Einflüsse auf die Zahnstrukturen nachgewiesen [82]. So konnte Kinomoto *et al.* 2001 zeigen, dass 30%iges  $H_2O_2$  einen zytotoxischen Einfluss auf die Desmodontalzellen hat [84]. Um Veränderungen in den anorganischen Komponenten festzustellen, kann man die Kalzium-Phosphat-Relation von Schmelz, Dentin und Zement bestimmen. Dabei konnte Rotstein *et al.* feststellen, dass bei der Verwendung von 30%igem  $H_2O_2$  mit Natriumperborat eine Änderungen in der Relation auftrat, was bei der Verwendung von Natriumperborat mit Wasser nicht der Fall war [123]. Der Effekt des Bleichen von Schmelz in Bezug auf die spätere Haftung von Füllungsmaterialien wie Glasionomerezement oder Kompositen ist in vielen Studien untersucht worden. So setzt der Bleichprozess die Stärke des Haftverbundes zumindest kurzfristig herab [58,79,155]. Es gilt als gesichert, dass Rückstände von Peroxiden oder Oxiden die Polymerisation von Kompositen behindern [39,160]. Eine Veränderung der Oberfläche des Schmelzes als Grund für den schlechteren Haftverbund konnte nicht festgestellt werden [129]. Während der Effekt auf Schmelz recht gut untersucht ist, gibt es zu den Auswirkungen des Bleichens auf Dentin nur eine dünne Studienlage. Viele

verfügbaren Studien berichten geschlossen über eine Herabsetzung der Haftwerte zwischen Dentin und Glasionomerzement oder Komposit, ähnlich wie es auch für Schmelz gilt. Diese Untersuchungen basieren auf die Verwendung von 30-35%iges  $H_2O_2$  und 10-21% Carbamidperoxid [156,157,159], wohingegen Müller Arceri et al. 2007 keine Veränderung der Haftwerte für verschiedene Bleichmittel fanden [107]. Die Haftwerte nach Abwarten einer Karenzzeit von einer Woche wiesen keine Verbesserung auf [142,156,159]. Eine weitere Studie fand ebenfalls keine Beeinträchtigung der Haftwerte nach Bleichen mit 30%igem  $H_2O_2$  und einer Wartezeit von sieben Tagen [37]. Eine Untersuchung zeigte ebenso Veränderungen am Wurzelzement, was allerdings für den Haftverbund keinerlei Relevanz hat [172].

### 2.3.3 Die Walking-Bleach-Technik

#### *Vorbereitung*

Zunächst ist wichtig, dass die Indikation richtig gestellt wird, da das Interne Bleichen nur bei lokal intrinsischen Verfärbungen Erfolg verspricht (s.o.). Der Patient ist darüber aufzuklären, dass das Bleichergebnis nicht vorhersehbar ist und die vollständige Wiederherstellung der ursprünglichen Zahnfarbe nicht zu garantieren ist [8]. Weiterhin ist es oftmals notwendig, die Bleicheinlage mehrmals zu wechseln, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen [5]. Vor der Therapie ist ein Röntgenbild anzufertigen, um die Qualität der Wurzelkanalfüllung abzuschätzen. Sie dient in diesem Fall nicht nur zum Schutz vor Mikroorganismen, sondern verhindert auch das Eindringen des Bleichmittels in die apikale Region [8]. Sollte die Wurzelkanalfüllung nicht überzeugen, so ist diese zu revidieren und das Bleichen erst nach ca. 7 Tagen zu beginnen [5]. Vorhandene Füllungen am Zahn müssen am Ende des Bleichvorgangs erneut auf Farbstimmigkeit überprüft und gegebenenfalls erneuert werden, um zur helleren Zahnfarbe zu passen [128].

#### *Präparation der Eingangskavität*

Es empfiehlt sich, vor der Präparation der Eingangskavität Kofferdam anzulegen, um die umgebenen Strukturen zu schützen. Es sollten alle kariösen Stellen, Pulparesten, Wurzelfüllmaterial und Füllungsreste entfernt werden. Zusätzlich kann man das Pulpakavum entweder mit Natriumhypochlorit oder Alkohol reinigen [5]. Das Entfernen des Smear-Layers mit 37%iger Orthophosphorsäure hat keinen positiven

Einfluss auf das Bleichergebnis [24,74]. Vielmehr wird diskutiert, ob es nicht sogar schadet, da durch das Entfernen des Smear-Layers das Bleichmittel besser in das Parodont diffundieren kann [57].

#### *Der zervikale Verschluss*

Neben einer suffizienten Wurzelfüllung ist für den Schutz des Parodonts und der Wurzelregion die zervikale Abdichtung oberhalb der Wurzelfüllung wichtig, um zu verhindern, dass während der Einwirkzeit Bleichmittel in die apikale Region vordringen kann. Costa *et al.* und Smith *et al.* zeigten, dass dazu die alleinige Wurzelfüllung nicht ausreicht [31,141]. Um Platz für diese Abdichtung zu erhalten, empfiehlt es sich, die Wurzelfüllung bis ca. 2 mm unterhalb der Schmelz-Zement Grenze zu entfernen [114]. Es gibt verschiedene Materialien, die für den Verschluss in Frage kommen: So liefern *Cavit* und *IRM* ein besseres Resultat als Zinkoxidphosphatzement [100]. Stopfbare Materialien wie *Cavit* und *Coltosol* scheinen gegenüber provisorischen Kunststoffmaterialien (*Fermit*), Zinkoxideugenolzement oder Zinkoxidphosphatzement auch nach Hosoya *et al.* besser zu sein [75]. Das Verschlussmaterial sollte in jedem Fall die Höhe der Schmelz-Zement Grenze erreichen, um so eine eventuelle Schädigung des Parodonts zu vermeiden [148]. Sollte es nötig sein, in apikale Richtung weiter vorzudringen, beispielsweise bei Stümpfen nach chirurgischer Kronenverlängerung, so hat dies schrittweise und mit milden Bleichmitteln zu erfolgen [127].

#### *Das Einbringen des Bleichmittels*

Für die Bleicheinlage empfiehlt sich Natriumperborat (Tetrahydrat) gemischt mit aqua dest. oder mit einer 3%igen Wasserstoffperoxid Lösung in einem Verhältnis von 2:1 [73,110]. Nach dem Anmischen sollte eine sahnige Konsistenz vorliegen, bevor das Bleichmittel in die Kavität eingebracht wird [6]. Das Bleichmittel gibt nun während der Liegezeit  $H_2O_2$  ab. Durch die Verwendung von Natriumperborat steigt im Gegensatz zum Bleichen mit reinem  $H_2O_2$  der pH-Wert zunächst auf Werte zwischen 9 und 11 an. Dies führt zu einer besseren Bleichwirkung [56]. Die Einlage sollte einmal pro Woche gewechselt werden, bis das gewünschte Bleichergebnis erzielt ist. Eine häufigere Kontrolle im Endstadium kann verhindern, dass es zum Überbleichen kommt [5].

*Temporärer Verschluss*

Um zu gewährleisten, dass das Bleichmittel im Pulpakavum bleibt, ist ein dichter temporärer Verschluss notwendig. Es empfiehlt sich, auf das Bleichmittel ein Schaumstoffpellet zu legen, um die Kavität einfacher zu verschließen. Man muss den Patienten darüber aufklären, dass durch die unzureichende adhäsive Stabilisierung der Zahn einer erhöhten Frakturgefahr während des Bleichprozesses ausgesetzt ist [8]. Nach dem Bleichen ist es möglich, die Kavität temporär mit einer Calciumhydroxideinlage zu füllen, um das saure Milieu zu neutralisieren [6].

*Definitive Versorgung*

Um eine möglichst lange und stabile Situation zu gewährleisten, muss die Kavität nach dem Bleichen mit Komposit restauriert werden, das adhäsiv sowohl am Schmelz als auch am Dentin befestigt werden muss. So wird das Eindringen von Bakterien und Substanzen, die den Zahn erneut verfärben können, verhindert und die Dentinkanäle verschlossen, was für die Stabilität des Erfolges unabdingbar ist [1]. Auf Grund der oben beschriebenen Auswirkungen des Bleichens auf Schmelz und Dentin, sollte man sich, ca. zwei, bei gewünschten optimalen Verhältnissen sogar bis zu drei Wochen lang warten, bevor der Zahn endgültig versorgt wird [25,138]. Diese Zeitspanne kann man zum Beispiel mit einer Calciumhydroxideinlage überbrücken, die den pH-Wert wieder neutralisiert und die keinen negativen Einfluss auf den Haftverbund zu haben scheint [36,82]. Wegen der Gefahr einer Wurzelresorption ist eine regelmäßige Röntgenkontrolle angezeigt [45].

*Prognose*

Der Erfolg des Bleichens ist durch klinische Untersuchungen bestätigt worden [6]. Patienten bewerten diesen Erfolg meist besser als die Zahnärzte selbst [47,60]. Ab und zu konnten allerdings erneute Verdunkelungen der Zahnfarbe nach Bleichen beobachtet werden [55]. Die Prognose hängt allerdings auch vom Ausgangsbefund ab, so haben Trauma-Zähne und verfärbte Zähne mit Pulpanekrosen mit 95% eine hohe zu erwartende Erfolgsrate beim Bleichen, während durch Medikamente oder Restaurationen hervorgerufene Verfärbungen eine nicht so hohe Erfolgsrate aufweisen [15].

### *Risiken und Komplikationen*

Neben den bereits oben beschriebenen Einflüssen des Bleichens auf die Zahnstrukturen ist die größte und ernstzunehmende Komplikation die zervikale Wurzelresorption [47,54,92]. Vor allem die Kombination aus traumatisch verletztem Zahn und anschließendem Bleichen liefert die größte Prädisposition für zervikale Resorptionen [68]. Zähne, die nach Traumata wurzelkanalbehandelt wurden, weisen häufiger Resorptionen auf [1,54,76]. Um die Gefahr der zervikalen Resorption zu verringern, ist es heute „State of the Art“, die Walking-Bleach Methode mit Natriumperborat zu verwenden [93]. Sollte es zu zervikalen Resorptionen kommen, so bleibt neben dem Versuch der chirurgischen Kronenverlängerung und anschließender Restauration oft nur die Extraktion des Zahnes [59,63,88].

## **2.4 Stiftversorgungen**

Eine Möglichkeit, endodontisch behandelte und stark zerstörte Zähne zu versorgen, bietet die Stiftverankerung im Wurzelkanal. Wichtig hierbei ist die Erkenntnis, dass dadurch nicht der Zahn stabilisiert wird, sondern lediglich eine Möglichkeit geschaffen wird, den koronalen Aufbau zu verankern und die Retention zu erhöhen [43,106,135,169]. Dazu gibt es mittlerweile eine Bandbreite verschiedener Stiftsysteme, die sich in Material, Form und Herstellung unterscheiden.

### **2.4.1 Herstellungsmethode von Stiftaufbauten**

Bei der Art der Stiftaufbauten kann man unterscheiden zwischen: individuellen Stiftaufbauten, halbkonfektionierten und vollkonfektionierten Stiftaufbauten [150]. Zu beachten ist, dass die Präparation für halbkonfektionierte und vollkonfektionierte Stifte mit entsprechenden vom Hersteller verfügbaren konfektionierten Instrumenten erfolgen muss.

#### *Individuell gefertigte Stiftaufbauten*

Individuelle Stiftaufbauten können nach der direkten oder indirekten Methode hergestellt werden [150]. Bei dem direkten Weg wird nach der Präparation des Schachtes der Zahn und Kanal mit ausreichend Vaseline isoliert und anschließend mit einem Modellierkunststoff (z.B. *Palavit*) aufgefüllt. Danach modelliert man den Aufbau



und beschleift diesen nach der Aushärtung in die gewünschte Form. Im Labor wird nun dieser individuell hergestellte Rohling in Metall überführt. Bei der indirekten Variante wird nach der Präparation des Schachtes dieser einschließlich des Zahnes abgeformt und danach im Labor in Gips ausgegossen. Es folgt die Modellation in Wachs und danach das Gießen in Metall. Wichtig hierbei ist eine möglichst genaue Abformung des Kanals, was mit einem dünnfließenden Abdruckmaterial realisiert werden kann, um später eine genaue Passung zu erhalten.

#### *Halbkonfektionierter Stiftaufbau*

Der halbkonfektionierte Stiftaufbau setzt sich aus einem konfektionierten Stift und einem individuellen Aufbau zusammen. Als Stift kommt ein Metall-, Glasfaser- oder Zirkonstift in Frage. Entsprechend wird der Aufbau entweder angegossen (Metallstift) oder aus Komposit adhäsiv befestigt (Glasfaser oder Zirkonstift). Bei Keramikstiften kann der Aufbau ebenfalls aus Keramik bestehen [136].

Für die Angussvariante gibt es analog zu den individuell gefertigten Stiftaufbauten die direkte und indirekte Variante. Entweder modelliert man mit Kunststoff den Aufbau am Stift (direkt), oder man formt mit einem Stiftanalog ab und lässt sich den Aufbau im Labor herstellen (indirekt).

Bei einem Kompositaufbau wird zunächst der Stift zementiert und danach der Aufbau mit Komposit modelliert.

#### *Vollkonfektionierter Stiftaufbau*

Bei den vollkonfektionierten Systemen ist sowohl der Stift als auch der Aufbau vorgeben. Nach dem Zementieren muss man den Aufbau in die gewünschte Form zurechtschleifen, was sich als sehr zeitaufwendig erweist und damit einen erheblichen Nachteil darstellt.

Bei allen indirekten Verfahren muss der Zahn bis zur Fertigstellung des Stiftes samt Aufbau temporär versorgt werden. Genau dies spiegelt den größten Schwachpunkt all dieser Methoden wieder, da die Provisorien das Eindringen von Mikroorganismen in den wurzelkanalbehandelten Bereich nicht verhindern können und somit eine Kontamination wahrscheinlich ist [36,52]. Ferner kann die provisorische Zementierung mit weichen, provisorischen Zementen auch bei ungünstiger Belastung zu einer Sprengung der Wurzel führen, was die Extraktion des betreffenden Zahns nach sich ziehen würde [132].

### 2.4.2 Stiftmaterialien

Eine weitere Einteilung der Stifte liefert ihr Material. Man unterscheidet zwischen Metall-, Keramik- und faserverstärkten Stiften. An das Material und Stiftsystem werden heute vielerlei Anforderungen gestellt [48]:

- Physikalische Eigenschaften ähnlich wie die des Dentins
- Maximale Retention
- Gleichmäßige Verteilung der Kräfte entlang der Wurzeloberfläche
- Ästhetisch passend zur endgültigen Versorgung und zum angrenzenden Gewebe
- Minimale Stresseinleitung beim Zementieren und Anpassen
- Optimale Retention des Aufbaus
- Leichte Entfernbarekeit
- Einfache Anwendung
- Zuverlässig und sicher
- Bezahlbar

All diesen Anforderungen kann zugleich heute kein Material gerecht werden.

#### *Metallstifte*

Metallstifte bestehen entweder aus Titan, Edelmetall- oder Nichtedelmetalllegierungen. Sie haben vor allem das Problem, den heutigen hohen ästhetischen Ansprüchen nicht zu genügen. Auch das Elastizitätsmodul, zum Beispiel Ni-Cr (200 GPa), unterscheidet sich deutlich von dem des Dentins (15 GPa) [113]. Das führt dazu, dass bei Krafteinwirkung dies auf kleinere Dentinareale wirkt und es somit häufiger zu Wurzelfrakturen kommen kann [30,71,113]. Titanstifte haben den Vorteil, dass sie nicht von Korrosion betroffen sind und eine ausgezeichnete Biokompatibilität vorweisen. Sie haben allerdings den Nachteil, dass sie röntgenologisch schlecht vom Wurzelkanalfüllmaterial zu unterscheiden sind und über eine geringe Bruchfestigkeit verfügen. Auch das Entfernen der Stifte ist problematisch, da sie öfter brechen. Aus diesen Gründen sollten sie heute vermieden werden [135].

#### *Keramikstifte*

Es gibt zwei Keramikstiftmaterialien: Aluminiumoxidkeramik und Zirkonoxidkeramik, die beide in den 1990er Jahren auf den Markt gebracht wurden [86,101]. Beide besitzen

gute ästhetische Eigenschaften [21,87,96] sowie eine sehr gute biologische Verträglichkeit [2,18,43]. Nachteilig ist das hohe Elastizitätsmodul und die nahezu unmögliche Entfernung des Stiftes, nachdem er einmal im Kanal befestigt wurde [4]. Ein weiteres Problem stellt das Befestigen im Kanal dar, da man die Keramik vorab konditionieren muss [83]. Dies betrifft vor allem die Zirkonoxidkeramik, die weder silanisiert noch geätzt werden kann [14,111]. Somit muss man eine Drei-Schritt-Technik anwenden: Zunächst wird die Oberfläche mit Aluminiumoxidpartikeln bestrahlt, danach folgt die Silikatisierung mit einem speziellen Strahlgerät (z.B. *Rocatec*, 3M Espe, Seefeld, Deutschland) und zum Schluss die Silanisierung (z.B. *Monobond S*, Ivoclar Vivadent, Lichtenstein). Erst jetzt kann mit Hilfe eines Bondingsystems der Haftverbund gewährleistet werden [97].

#### *Faserverstärkte Stifte*

Zunächst gab es Karbonfaserstifte, später dann Glasfaserstifte, die Fasern in einer Matrix aus Kunststoff chemisch einbinden. Beide Varianten liefern ähnliche werkstoffkundliche Eigenschaften wie das Dentin und führen somit zu weniger Frakturen [140]. Ästhetisch bieten vor allem die Glasfaserstifte die besten Eigenschaften im Vergleich zu allen anderen Stiftmaterialien [135]. Nachteil bei den Glasfaserstiften ist die geringere Bruchfestigkeit, die dazu führt, dass der Stift öfter frakturiert als andere [30]. Der Frakturmodus ist allerdings meist so günstig, dass eine erneute Zementierung oft möglich ist. Faserverstärkte Stifte sind zudem leicht zu entfernen, in dem man sie entlang ihres Verlaufes einfach herausbohrt [34].

### **2.4.3 Stiftdesign**

Das Stiftdesign ist eine zusätzliche Variante, um Stifte zu differenzieren. Neben den individuellen Stiften, bei denen die Präparation des Kanals das Design vorgibt, kommt dies auch bei den konfektionierten Stiften zum Tragen. Weiterhin hat das Design einen wesentlichen Einfluss auf die Retention des Stiftes im Kanal. Im Wesentlichen unterscheidet man das Design in drei Gruppen [20]:

- Konische Stifte, glatt oder rau, konisch präparierter Kanal
- Parallele Stifte, glatt oder rau, zylindrisch präparierter Kanal
- Parallele Stifte, Schraubgewinde, in vorgebohrte Kanäle

*Konische Stifte*

Die konischen Stifte kommen der morphologischen Wurzelkanalbeschaffenheit am nächsten und haben somit den Vorteil, die Wurzel im apikalen Bereich nicht zu sehr unter Stress zu setzen, was einer Wurzelfraktur vorbeugt [28]. Sie weisen allerdings geringere Retentionswerte als alle anderen Stiftformen auf, die aber z.B. durch Sandstrahlen oder Oberflächenrauigkeit verbessert werden kann [108,128]. Sie werden heute vielfach eingesetzt und haben sich, auch wegen der hohen Passgenauigkeit und guten Anpassbarkeit, klinisch bewährt [150].

*Zylindrische Stifte*

Zylindrische Stifte haben eine parallelwandige Form mit verschiedenartigen Oberflächen (sandgestrahlt, geraut, Gewinde). Sie sind in Sachen Retention den konischen Stiften überlegen [29], haben allerdings das Problem, die Wurzel im apikalen Bereich stark zu schwächen, da hier mehr Dentin entfernt werden muss. Das steigert die Gefahr der Wurzelfraktur oder Perforation [43,170].

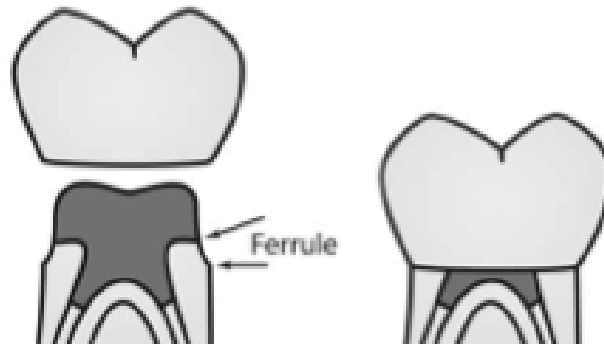
*Schraubstifte*

Eine besondere Form stellen die Schraubstifte dar. Diese Stifte verfügen über ein Gewinde, sind entweder selbstschneidend oder müssen in einen vorgebohrten Kanal eingedreht werden. Neben den Nachteilen des Substanzverlustes kommt es hier zu Spannungen durch das Eindrehen, die auf den Zahn übertragen werden [144,145]. Dies führt gehäuft zu Spannungsrissen und somit in der Folge zu Wurzelfrakturen [43,150].

Neben dem Design ist auch die gewählte Länge des Stiftes wichtig für die Prognose des Zahnes und Aufbaus. Die Länge ist direkt proportional zur Retentionskraft [81]. Es gibt verschiedene Empfehlungen zur besten Stiftlänge. Zunächst muss gewährleistet sein, dass die verbleibende Wurzelkanalfüllung lang genug ist. Angaben hierfür schwanken zwischen 3 und 6 mm [137,173]. Zu den Stiftlängen:

- Die Stiftlänge sollte mindestens der Länge der klinischen Krone entsprechen [120,139]
- Die Stiftlänge sollte  $\frac{1}{2}$  bis zu  $\frac{2}{3}$  der Wurzellänge entsprechen [7,9].
- Die Stiftlänge sollte  $\frac{1}{2}$  so lang sein, wie die Wurzel von Knochen gefasst ist [149].

Neben der Stiftlänge wurde auch der Einfluss des Stiftdurchmessers gut untersucht. So spielt dieser bei den Retentionswerten keine große Rolle [143]. Für die leicht verbesserte Retention würde man ein erhöhtes Wurzelfrakturrisiko in Kauf nehmen



**Abb. 2:** Ferrule Design [98]

müssen [20,143]. Die Breite sollte  $\frac{1}{3}$  des Wurzeldurchmessers nicht überschreiten und es sollte mindestens 1 mm Restdentinbreite verbleiben [19,106]. Ein weiterer wichtiger Schritt, um Wurzelfrakturen möglichst gering zu halten, ist das „ferrule design“. Hierbei wird der Aufbau des Zahnes durch einen Stift oder auch als reiner Core Build-up 2 mm Richtung apikal gefasst. Dies gelingt bei Präparation der definitiven Versorgung durch das Legen der Präparationsgrenze innerhalb der natürlichen Zahnhartsubstanz und nicht in den Bereich des Füllungs- oder Aufbaumaterials. Dadurch lässt sich der zervikale Stress verringern und die Frakturgefahr minimieren [113,119,131]. Auch die Langzeitprognose endodontisch behandelter Zähne steigt dadurch [158]. Sollte die Zahnkrone zu tief zerstört sein, so dass auf den ersten Blick ein „ferrule design“ nicht möglich erscheint, so ergeben sich verschiedene Varianten, es doch zu realisieren [119]:

- Kieferorthopädische Extrusion
- Chirurgische Kronenverlängerung
- Stift und Krone, ohne „Ferrule design“ und dafür eine schlechte Prognose in Kauf nehmen
- Extraktion des Zahnes und Versorgung der Lücke

## 2.5 Stumpfaufbauten mit Core-Build-up-Materialien

Neben der Möglichkeit, zerstörte Zähne mit Hilfe von Stiften zu rekonstruieren, ermöglichen uns die Fortschritte in der modernen Adhäsivtechnik, die Zugangskavitäten und zerstörten Strukturen durch Komposite wieder aufzubauen, ohne zwangsläufig einen Stift zu setzen. Dies wird als sogenanntes Core Build-up bezeichnet. Hintergrund des Ganzen ist die Überlegung, den Zahn so weit wie möglich zu schonen. Das größte Risiko für einen endodontisch behandelten Zahn ist der Dentinverlust [22,69]. Dieser entsteht zum einen durch das Entfernen kariöser Substanzen, zum anderen wird er verursacht durch die Präparation der Zugangskavität und des Stiftschachtes [105,115]. Hurmuzulu *et al.* zeigten, dass die Versorgung der Kavität mit Komposit den Zahn mehr stabilisiert als die mit Amalgam [77,116]. Andere Studien konnten dies allerdings nicht bestätigen, wobei man auf das Publikationsjahr hinweisen muss, da zu einem frühen Zeitpunkt die Adhäsivtechnik noch nicht so weit entwickelt war wie heute [80,147]. Die Kompositmaterialien in den oberen Bereich des Wurzelkanalsystems auszuweiten, hat keinen positiven Effekt auf die Frakturresistenz und ist somit nicht notwendig oder empfehlenswert [51]. Für das Verfahren des Core-Build-up gibt es zur Zeit noch keine klinischen Langzeitstudien, deshalb muss die Zukunft zeigen, inwieweit der adhäsive Verbund den Belastungen stand hält [41,112,122].

Eine weitere neuere Methode, endodontisch behandelte Zähne zu stabilisieren, liefern die faserverstärkten Komposite (FRC). Es zeigte sich, dass der Frakturwiderstand bei wurzelgefüllten Molaren mit MOD-Kavität durch das Füllen mit Komposit gesteigert werden konnte. Noch verbessert wurde es durch das Einkleben eines U-förmigen Ribbond-Faserbandes (Ribbond, Seattle, USA) in bukkolingualer Richtung und das Ausfüllen mit Komposit. Den besten Wert lieferte das Einbringen eines Ribbond-Bandes in eine in die Kompositfüllung gefräste Rille und deren nachträglicher Verschluss [11,12,13].

## 2.6 Befestigungskomposite

Um die Wurzelstifte dauerhaft im Kanal zu befestigen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die Befestigungsmaterialien unterscheiden sich stark in Material, Eigenschaften und Verarbeitungsweg [121,134]. Die Befestigungsmaterialien kann man

in zwei Gruppen unterteilen: Zum einen in die Zemente auf Säurebasis und zum anderen in Kompositsysteme.

Zemente auf Säurebasis bestehen aus einer sauren Flüssigkeit und einem basischen oder amphoteren Pulver. Beim Mischen entsteht je nach Mischverhältnis eine Paste, die sich nach vollendeter Reaktion verfestigt. Am gebräuchlichsten sind Glasionomer- und Zinkoxidphosphatzemente, wobei Zinkoxidphosphatzement die längste klinische Erfahrung aufweisen kann und den Vorteil hat, mit Zinkoxideugenol-Sealern kompatibel zu sein [28].

Bei den Kompositmaterialien gibt es ebenfalls verschiedene, die sich nach ihrem Aushärtemechanismus unterteilen lassen in:

- chemischhärtend
- lichthärtend
- dualhärtend

Die chemische Härtung basiert auf einem 2-Komponenten-System. In der einen Komponente ist ein Initiator (z.B. Dibenzoylperoxid) und in der anderen ein Akzelerator (z.B. tertiär aromatische Amin) untergebracht, die nach dem Vermengen freie Radikale bilden und somit die Polymerisation vorantreiben [44,171].

Bei der Lichthärtung kommt es durch Licht einer bestimmten Wellenlänge (400 bis 500 nm) zur Aktivierung des Kampferchinons, welches aufbricht und Radikale bildet, die dann zur Polymerisation führen [85,171].

Bei der Dualhärtung handelt es sich um eine Kombination aus beidem. Die Kompositzemente gewinnen in letzter Zeit mehr und mehr an Beliebtheit und sind studientechnisch gut untersucht. So konnte neben einer geringen Microleakage [94,117] auch eine verbesserte Haftung am Dentin gezeigt werden [26,109,146]. Mezzomo *et al.* demonstrierten 2003 zudem, dass mit Komposit befestigte Stifte eine erhöhte Frakturresistenz zeigten [102].

Bei der hier durchgeführten Studie kamen die Kompositbefestigungsmaterialien *Bifix SE* (Voco) und *Rebilda DC* (Voco) zum Einsatz, die im Folgenden näher betrachtet werden sollen.

### 2.6.1 *Bifix SE*

*Bifix SE* ist ein dualhärtendes selbstadhäsives Befestigungssystem auf Kompositbasis. Es kann für die Befestigung von Inlays, Onlays, Kronen, Brücken aus Keramik, Zirkoniumdioxid, Komposites und Metall sowie für die Zementierung von Metall-, Keramik-, und faserverstärkten Stiften im Wurzelkanal verwendet werden. Es setzt sich chemisch aus Bis-GMA, UDMA, Gly-DMA, Phosphatmonomeren, Glasfüllstoffen, Aerosil, Initiatoren und Stabilisatoren zusammen und hat einen Füllstoffanteil von 70% (61 Vol%) [10]. Im Vergleich zu anderen selbstadhäsiven Befestigungsmaterialien liefert es gute Abnutzungswerte im „Toothbrush-“ und ACTA-Test [10]. Das Handling scheint exzellent zu sein und die Analyse der physikalischen und chemischen Eigenschaft lassen den Schluss zu, dass das Material ähnliche klinische Leistungen hervorbringt wie andere dentale Befestigungszemente, was allerdings durch Langzeitstudien bestätigt werden muss [49]. Die Haftwerte zwischen tierischem Dentin oder Schmelz und *Bifix SE* sind für die duale Härtung höher als für die Lichthärtung des Materials und das Material schneidet im Vergleich zur Konkurrenz am besten ab [163]. Auch sind die Werte für die Haftung am Dentin höher als die für Schmelz [163]. Die Haftwerte für die Zementierung von Stiften mit *Bifix SE* unterscheiden sich nicht signifikant von denen anderer Befestigungsmaterialien wie beispielsweise *Futurabond DC/Rebilda DC (Voco)*, *Futurabond DC/Bifix QM (Voco)* oder *RelyX Unicem (3M Espe)* [53]. *Bifix SE* weist weiterhin die geringste Bakterienkolonisation im Vergleich zu alternativen Produkten auf, was einen besseren Schutz vor Sekundärkaries gewährleisten könnte [72].

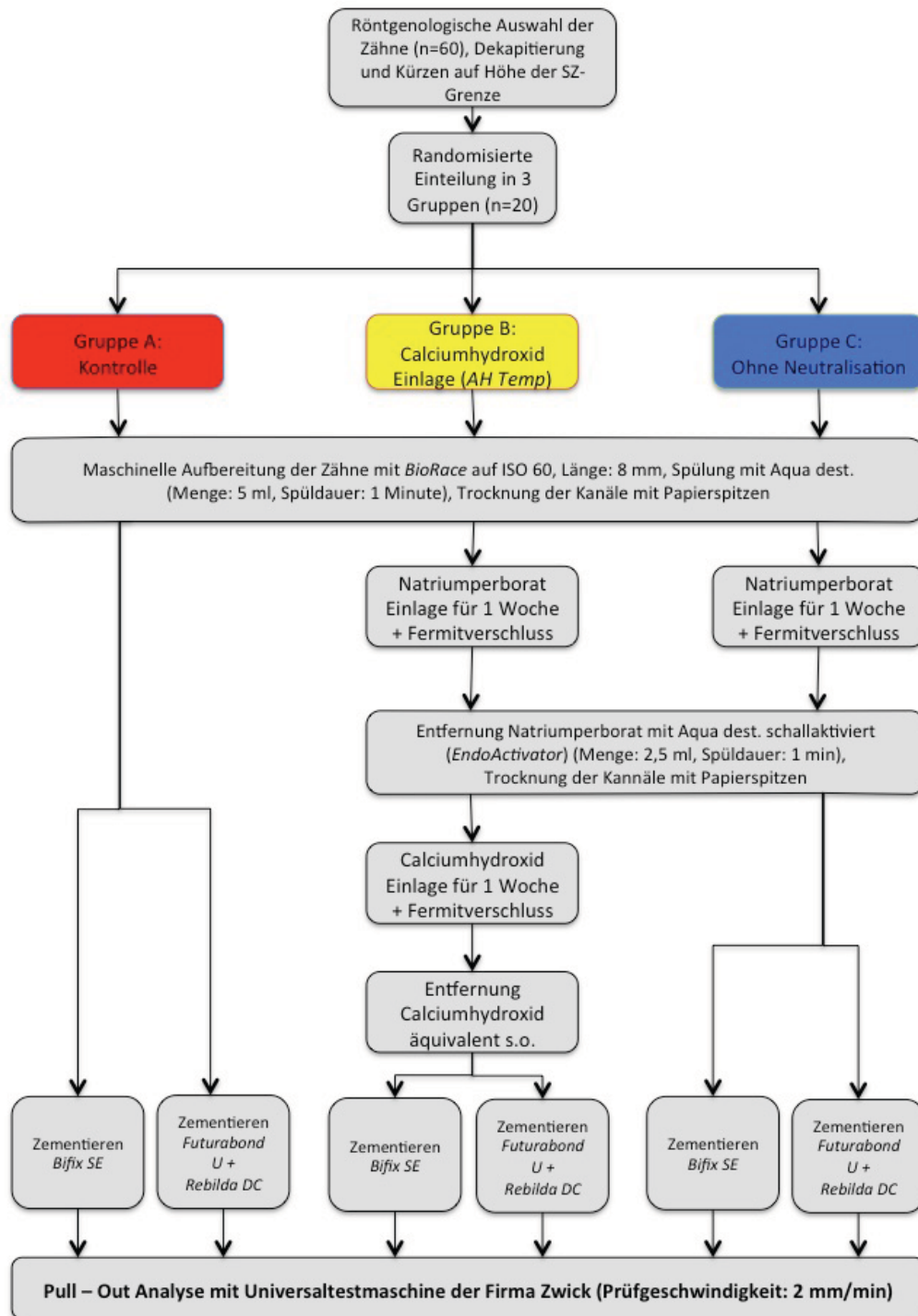
### 2.6.2 *Rebilda DC*

*Rebilda DC* ist ein fließfähiges, dualhärtendes Stumpfaufbau- und Wurzelkanalbefestigungssystem. Die Indikationen sind Stumpfaufbauten bei vitalen oder avitalen Zähnen sowie die Befestigung von faserverstärkten Composite-Wurzelstiften. Es besteht aus Bis-GMA, UDAM, DDDMA, Füllstoffen, Initiatoren und Stabilisatoren, wobei der Füllstoffanteil bei 71% (57 Vol%) liegt [130,152]. *Rebilda DC* zeichnet sich aus durch eine hohe Bruchresistenz und eine sehr gute Randspaltadaptation und macht somit eine langfristige Versorgung endodontisch behandelter Zähne möglich [118]. In der Druckspannungsanalyse liefert es gegenüber anderen Core-Materialien ebenfalls



gute Werte [130]. Es wies im Test neben anderen Materialien die höchste Abnutzungsresistenz auf [133]. Härtet man es mit Licht aus, so kommt es, verglichen mit anderen Materialien, zu hohen Schrumpfungsspannungswerten [152]. Für die Befestigung wird hier noch ein Adhäsivsystem wie zum Beispiel das dualhärtende Universal-Adhäsiv *Futurabond U* benötigt.

### 3 Material und Methode



#### 3.1 Versuchsdesign

Abb. 3: Versuchsaufbau im Flowchart

### 3.2 Versuchsvorbereitung

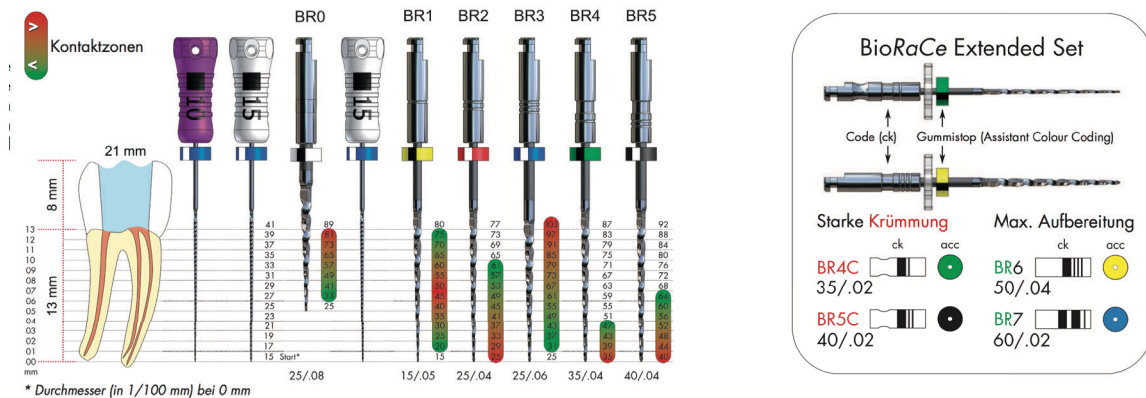
Für diese Studie wurden bleibende humane Zähne verwendet, die nach der Extraktion in einer Natriumazidlösung (0,9 isotonische NaCl-Lsg. + 0,001 % Natriumazid) gelagert wurden.

Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eingesetzten Zähne mussten folgenden Bedingungen genügen: einwurzlige Zähne mit geradem, nicht zu breitem Kanalverlauf. Voraussetzung war, dass die Zähne kariesfrei und nicht zuvor bereits wurzelkanalbehandelt waren. Um den Kanalverlauf abschätzen zu können, wurden alle Zähne vor der Auswahl in mesio-distaler Richtung digital geröntgt (Soredex). Die Zähne wurden grob gesäubert und anschließend unter Zuhilfenahme eines Scalers (Hufriedy) von verbliebenen Resten aus Granulationsgewebe, Konkrementen und Fasern befreit. Dann erfolgte die Dekapitierung auf Höhe der Schmelz-Zement-Grenze mit Hilfe eines grün diamantierten Schleifers (Komet) in einem roten Winkelstück (Kavo). Die Trennfläche wurde abschließend an einem Trimmgerät (Wassermann) plan geschliffen.

### 3.3 Wurzelkanalaufbereitung

Die Zähne wurden initial manuell mit C-Feilen (VDW) bis zur Größe ISO 15 auf eine Länge von 8 mm aufbereitet. Die weitere Aufbereitung erfolgte maschinell mit den Nickel-Titan *BioRace*-Feilen (FKG Dentaire SA) und einem drehmomentkontrollierten Endo-Pilot-Multifunktionsgerät (Schlumbohm) unter Anwendung der *Crown-down*-Technik. Auf dem Weg zur endgültigen Aufbereitungsgröße ISO 60 musste die *BioRaCe*-Feile BR6 durch die *FlexMaster* ISO 50 (VDW) ersetzt werden, da die BR6 mit einer 4-prozentigen Konizität eine zu große Konizität aufweist und somit keine kongruente Kanalinstrumentierung ermöglicht. Nach jedem maschinellen Schritt wurde der Kanal mit einer C-Feile Größe ISO 15 auf Arbeitslänge rekapituliert und mit Aqua dest. (B.Braun) gespült. Hierzu wurden *Omnifix*-Spritzen (B.Braun) mit einer Endospülkanüle (Endokanüle Dr. Buquet) verwendet. Insgesamt summierte sich die Spülmenge pro Zahn auf 5 ml bei einer Spüldauer von einer Minute. Die so aufbereiteten Zähne wurden bei 100% Luftfeuchtigkeit einzeln, in je einem Eppendorf-

Gefäß (Eppendorf AG), im Dunkeln bei 23°C zwischengelagert. In allen weiteren Studienschritten wurden die Zähne auf diese Weise aufbewahrt.



**Abb. 4:** BioRaCe Feilen (Abb. FKG Dentaire SA)

### 3.4 Internes Bleachen

Für die Gruppen B und C erfolgte nun der Prozess des internen Bleachings. Dazu wurden die Kanäle zunächst mit Papierspitzen Größe ISO 55 (Roeko) getrocknet. Das interne Bleaching erfolgte mit Natriumperborat (Sigma-Aldrich), das in einem Dappenglas mit Aqua dest. zu einer pastösen Konsistenz angemischt wurde, dann in das Kanallumen gefüllt und mit einem Spreader (VDW) verdichtet wurde. Nachdem der gesamte Kanal abgefüllt war, wurde der Eingang mit *Fermit* (Ivoclar Vivadent) verschlossen und dies mit einer *Elipar*-Polymerisationslampe (3M Espe) lichtgehärtet. Die Lagerung erfolgt in der oben beschriebenen Weise.

### 3.5 Neutralisation

In der Gruppe B folgte als nächstes die Neutralisation der Natriumperborat-Reaktion mit Hilfe des Calciumhydroxid-Präparates *AH Temp* (Dentsply DeTrey). Nachdem der Fermitdeckel von der Wurzel entfernt worden war, wurde das Natriumperborat zuerst mechanisch mit einer C-Feile ISO 15 aus dem Kanal gelöst. Danach erfolgte die schallaktivierte Spülung mit Aqua dest. unter Verwendung des *EndoActivators* (Dentsply DeTrey) bei einer Spülmenge von 2,5 ml und einer Spüldauer von einer Minute, anschließend die Trocknung des Kanals mit Papierspitzen der Größe ISO 55. Abschließend wurde das *AH Temp* mit Hilfe der beigelegten Kanüle in den Kanal eingebracht und wie im Schritt zuvor mit *Fermit* verschlossen. Die Zähne wurden so

erneut für eine Woche gelagert (s.o.), damit das Calciumhydroxid-Präparat einwirken konnte.

### 3.6 Vorbereitung der Stahl-Spreader

Zur Verwendung kamen *Stahl-Spreader* (Dentsply DeTrey) der Größe ISO 25, die mit Hilfe einer Messlehre (Maillefer Dentsply) und einer Trennscheibe (Komet) auf Größe ISO 55 gekürzt wurden. Die Trennstelle wurde daraufhin mit Sandpapier (SIC-Papier P#220) entgratet. Durch die Anpassung der Größe war es nun möglich, den Spreader optimal in den aufbereiteten Kanal zu zementieren, wobei sich ein dünner Film des jeweiligen Befestigungskomposits in den Spaltraum zwischen Spreader und Dentin verpressen konnte.

Um einen möglichst optimalen Verbund zwischen dem Befestigungskomposit und dem Spreader zu erreichen, wurden letztere direkt vor dem Einzementieren mit 70%igen Alkohol (Hoffman & Sommer) entfettet und mit dem *Rocatec System* (3M Espe) tribochemisch beschichtet.

### 3.7 Zementieren der Spreader

Zum Zementieren der Spreader kamen zwei unterschiedliche Befestigungskomposite zum Einsatz, zum einen das selbstadhäsive Material *Bifix SE* und zum anderen eine Kombination aus dem dualhärtenden Universal-Adhäsiv *Futurabond U* und dem dualhärtenden Wurzelstiftbefestigungssystem *Rebilda DC*.

Die Gruppen A, B und C wurden in zwei Untergruppen aufgeteilt. In den jeweils ersten Untergruppen wurden die Spreader mit *Bifix SE* einzementiert und in den jeweils zweiten Gruppen mit der Kombination aus *Futurabond U* und *Rebilda DC*.

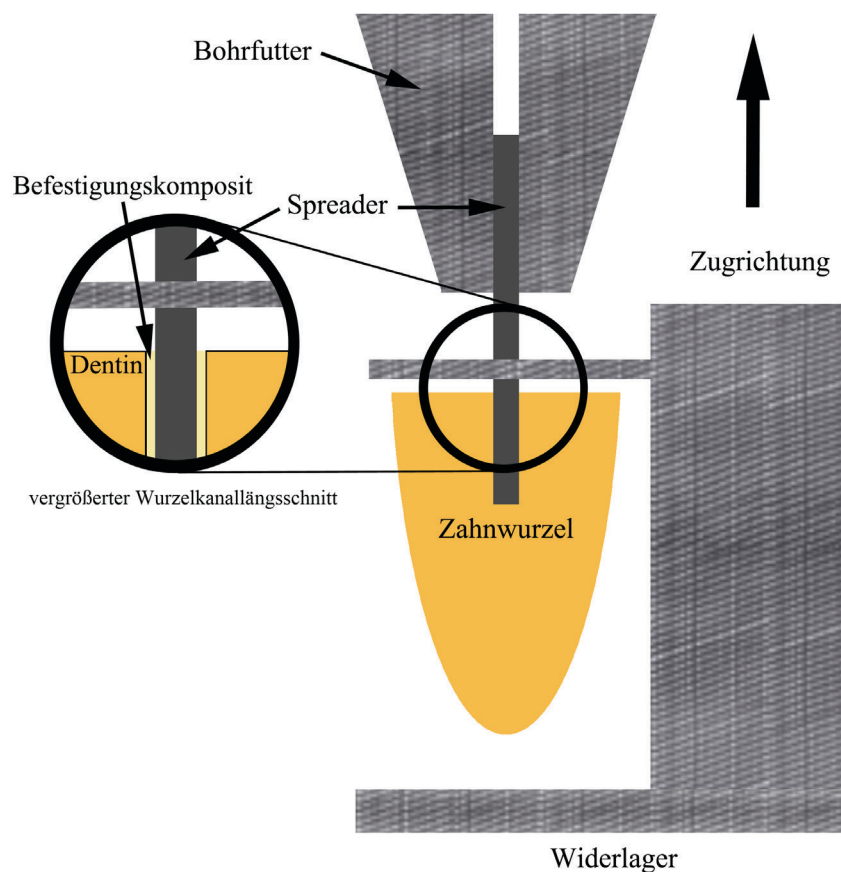
Zuvor wurden die verbliebenden Einlagen in Gruppe B – das Calciumhydroxidpräparat – und C – das Natriumperborat – mechanisch und schallaktiviert entfernt (s.o.). Nach Trocknung der Kanäle mit Papierspitzen waren die Zähne bereit zum Zementieren der Spreader.

Beim Zementieren der Spreader mit *Bifix SE* in den jeweiligen ersten Untergruppen aus A, B und C wurde das Material maschinell mit einem Lentulo (Komet) zunächst in das Kanallumen eingebracht. Daraufhin erfolgte das dünne Auftragen des Materials auf den

Spreader, der danach in den Kanal gesteckt wurde. Die sich überpressenden Überschüsse wurden mit Hilfe von Schaumstoffpellets entfernt. Die Härtung erfolgte rein chemisch. Für die jeweiligen zweiten Gruppen musste der Kanal zunächst mit dem Adhäsiv *Futurabond U* vorbehandelt werden, um einen Haftverbund zwischen Dentin und Befestigungskomposit zu ermöglichen. Dazu wurde dieser mit Hilfe eines *Endo-Tims* (Voco) für 20 Sekunden mit *Futurabond U* einmassiert. Anschließend konnte der Befestigungskomposit *Rebilda DC* ebenfalls mit einem Lentulo in den Kanal eingebracht werden. Nach dünnem Beschicken des Spreaders wurde dieser in den Wurzelkanal geschoben und - wie oben beschrieben - die Überschüsse entfernt. Auch hier lief die Härtung rein chemisch ab.

Nach der Zementierung wurden alle Zähne für drei Wochen bei 20°C, 100%iger Luftfeuchtigkeit und Dunkelheit in Reaktionsgefäßen gelagert. Die Dauer von drei Wochen gewährleistete eine bestmögliche Aushärtung, bevor die Pull-out-Analyse durchgeführt wurde.

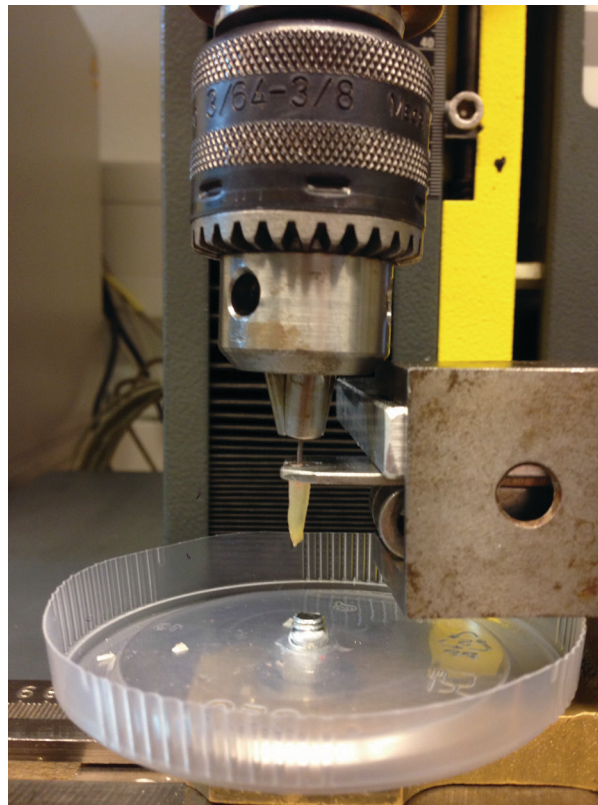
### 3.8 Die Pull-Out-Analyse



**Abb. 5:** Skizze des Versuchsaufbaus, bei dem die Probe in die Universalprüfmaschine eingespannt ist, um die Scherkraft zu messen



Zur Bestimmung des Haftverbundes kam die Pull-Out Analyse zum Einsatz, abgeleitet vom Testverfahren nach Ebert *et al.*[42]. Hierbei wird die Scherkraft gemessen, die benötigt wird, um den Haftverbund zwischen Spreader, Befestigungskomposit und Dentin aufzulösen. Die gemessene Kraft lässt dann Rückschlüsse zu auf den Haftverbund in MegaPascal [MPa]. Für die Messung wurde die Universal-Prüfmaschine „Zwicki“ (Zwick/Materials Testing) verwendet.



**Abb. 6:** Versuchsaufbau Pull-out

Als obere Haltebranche wurde die Maschine mit einem Bohrfutter bestückt, das den Spreader aufnehmen konnte. Als untere Haltebranche kam ein U-förmig ausgelassenes Metallstück zum Einsatz, das der Wurzel an der koronalen Trennfläche ein Widerlager gab. Die Proben wurden nun nacheinander mit dem Spreader in das Bohrfutter gespannt und das untere Widerlager positioniert [Abb. 6]. Bedingt dadurch, dass die Zähne nun in der „Luft“ hingen und initial keinen Kontakt zur unteren Haltebranche hatten, konnte ein spannungsfreier Versuchsaufbau gewährleistet werden. Auch das Einwirken von extraaxialen Kräften war so ausgeschlossen.

Nachdem die Lage der eingespannten Proben überprüft wurde, begann das eigentliche Testverfahren. Dabei zog die Maschine mit einer konstanten Prüfgeschwindigkeit von 2 mm/min den Spreader nach kranial. Durch das Widerlager wurde die Bewegung rasch

gestoppt und die nun anfallende Kraft in N von dem Computerprogramm *testExpert II* (Zwick/Materials Testing) aufgezeichnet, das mit der Maschine verbunden war. Die so zunehmende Zugkraft führte im Verlauf des Versuches zum Versagen des Haftverbundes zwischen Spreader, Befestigungskomposit und Dentin. Das Abscheren machte sich auch akustisch durch ein lautes Knackgeräusch bemerkbar.

Die Software zeichnete den Verlauf des Tests in einem Spannungs-/Dehnungsdiagramm (N/mm) auf, wobei die Stelle des Versagens als  $F_{max}$  in Newtonmeter gekennzeichnet wurde.

Um nun die Scherhaftkräfte in MPa zu berechnen, musste man die gemessenen Versagenswerte in Newtonmeter durch die Haftfläche in  $mm^2$  dividieren.

$$\text{Scherhaftkraft (MPa)} = \frac{\text{Versagenswert (N)}}{\text{Haftfläche (mm}^2\text{)}}$$

### 3.9 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit der Software *SPSS* für MAC, Version 22 (*SPSS Inc.*) durchgeführt.

Dabei wurden folgende Verfahren genutzt:

- Kolmogorov-Smirnov Test
- Kruskal-Wallis Test
- Mann-Whitney-U-Test

Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha = 0,05$  festgelegt.

### 3.10 Klassifizierung der Frakturmodi

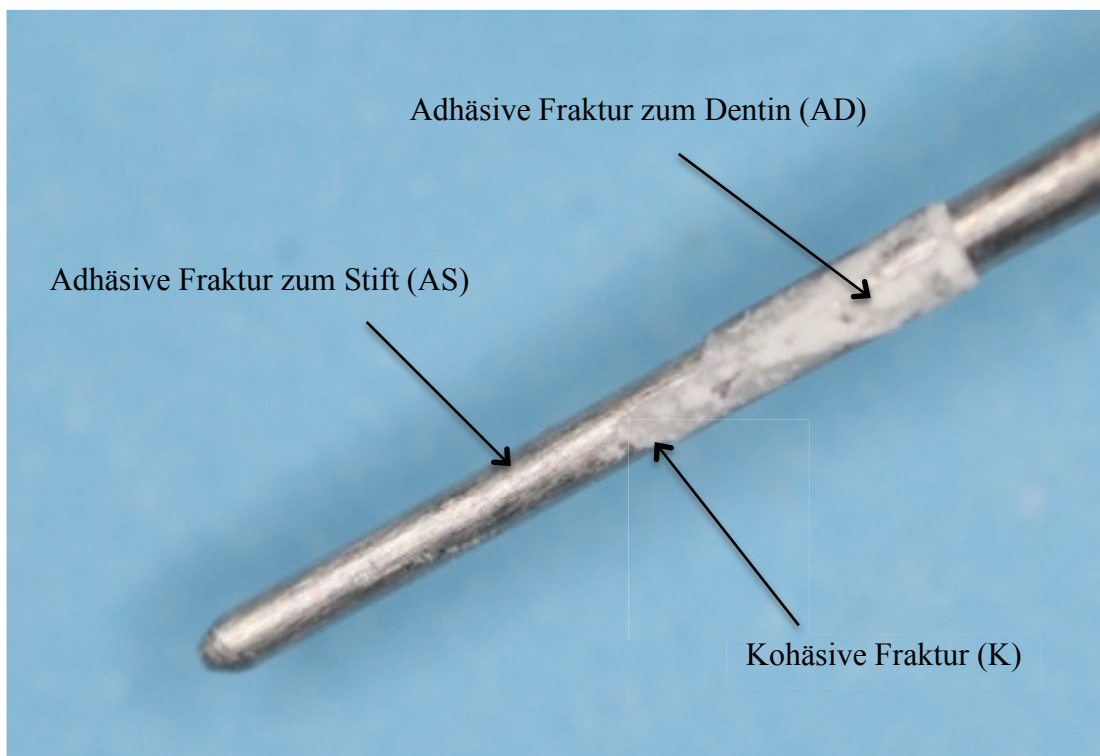
Nach den Pull-out-Versuchen wurden alle Spreader digital mit Hilfe der Makrofunktion fotografiert (*Canon EOS 500D*). Am Computer erfolgte daraufhin die Auswertung der Frakturmodi. Es gibt insgesamt vier Möglichkeiten, wie ein Stift vom Dentin abscheren kann:



- Ist der Spreader nach dem Pull-out-Versuch komplett blank, so spricht man von einer adhäsiven Fraktur zum Stift (AS).
- Eine adhäsive Fraktur zum Dentin ist gekennzeichnet durch eine dicke Schicht von Befestigungskomposit auf dem Spreader (AD).
- Stift von hauchdünner Schicht überzogen bedeutete eine kohäsive Fraktur (K).
- Traten 2 oder 3 Frakturmodi gleichzeitig auf, so wurde der Frakturmodus als gemischt (G) bezeichnet.

Theoretisch gibt es noch eine fünfte Variante: die Stiftfraktur. Diese trat allerdings in der Versuchsreihe nicht auf. Wurde ein gemischter Frakturmodus festgestellt, so erfolgte zusätzlich die Nennung des primär vorherrschenden Modus.

Auf dem folgenden Bild ist ein Spreader aus der Versuchsreihe zu sehen, bei dem alle drei Frakturmodi zu beobachten sind. Der vorherrschende Modus war eine adhäsive Fraktur zum Stift (AS).

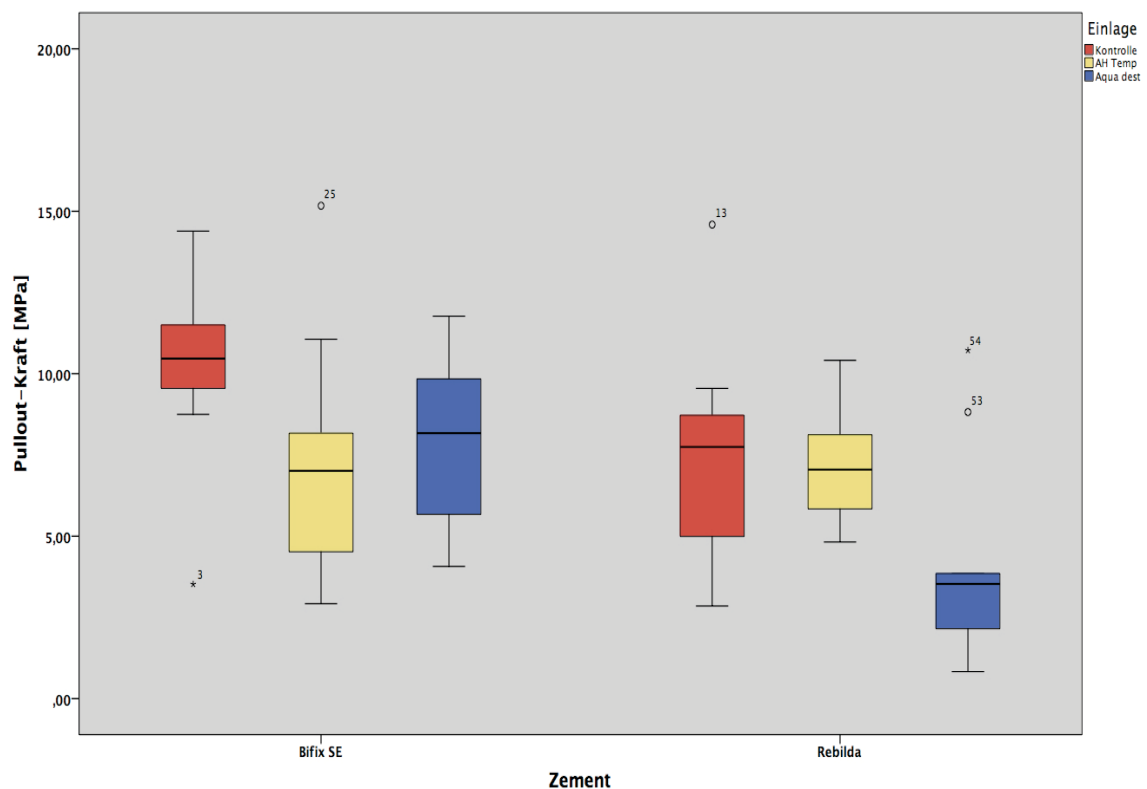


**Abb. 7:** Spreader Nr. 3 gemischter Frakturmodus, AS vorherrschend.

## 4 Ergebnisse

Die ermittelten Versuchswerte wurden statistisch ausgewertet und in einem gemeinsamen Boxplot-Diagramm (siehe unten) dargestellt.

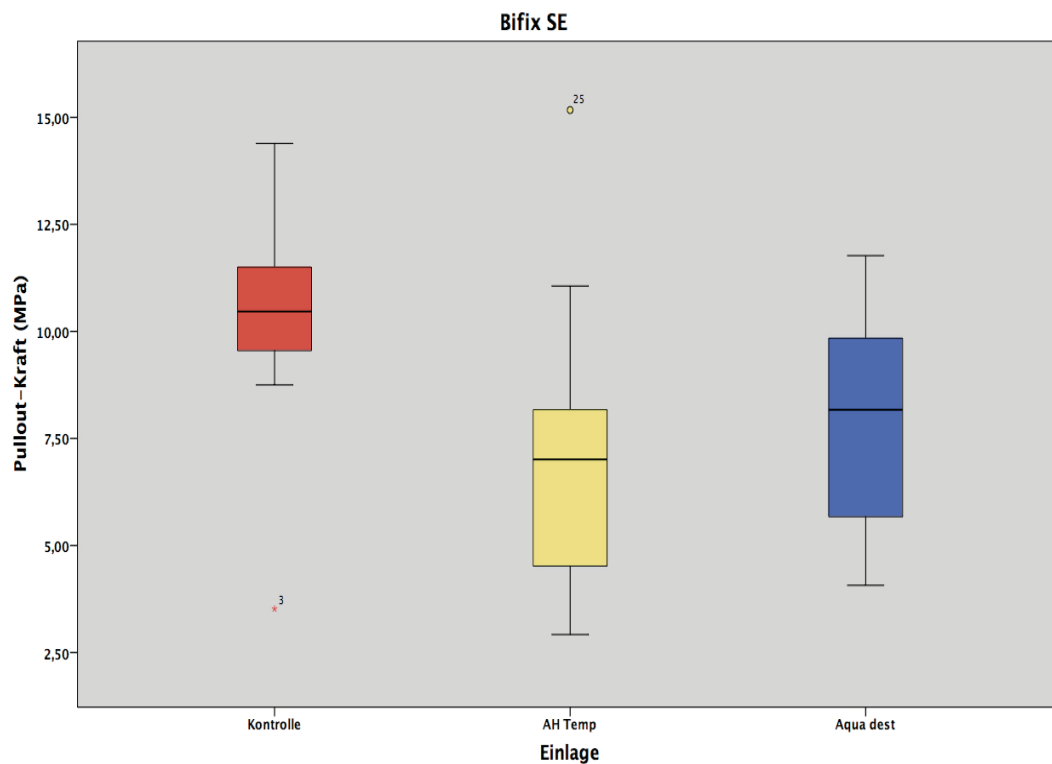
Für jede Untergruppe wurde die Normalverteilung der Werte mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft ( $p > 0,05$ ). Bis auf die Gruppe 2C waren alle Gruppen normalverteilt. Somit mussten im Weiteren nicht-parametrische Tests zur Anwendung kommen. Mit Hilfe des Mann-Whitney-Test wurden die einzelnen Untergruppen innerhalb der Gruppen 1: Bifix SE und Gruppe 2: *Futurabond U / Rebilda DC* auf signifikante Unterschiede überprüft. Abschließend wurden gruppenübergreifend die Untergruppen A (Kontrolle), B (*AH Temp*) und C (Aqua dest.) zwischen Gruppe 1 und 2 auf signifikante Unterschiede hin verglichen. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Kontrollgruppen ( $p = 0,021$ ). Für das „interne Bleaching“ mit anschließender Neutralisation (Untergruppen *AH Temp*) ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den zwei verschiedenen Befestigungskompositen ( $p = 0,65$ ). Betrachtet man allerdings das „interne Bleaching“ ohne Neutralisation (Untergruppen Aqua dest.) so ist hier ein deutlich signifikanter Unterschied zwischen den beiden Befestigungskompositen festzustellen ( $p = 0,006$ ).



**Abb. 8:** Boxplotdiagramm der gesamten Versuchsreihe zur Darstellung der Pull-out-Kraft der Befestigungskomposite Bifix SE und Futurabond U/ Rebilda DC in Abhängigkeit der verschiedenen Einlagen

#### 4.1 Ergebnisse der Pull-out-Kräfte in Gruppe 1: *Bifix SE*

In der Gruppe der Befestigungskomposite *Bifix SE* zeigte der Mann-Whitney-Test lediglich einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe *AH Temp* ( $p=0,034$ ). Die höchsten Pull-out-Kräfte wurden in der Kontrollgruppe ermittelt (Gruppe 1A Mittelwert: 10,19 MPa). Das Interne Bleichen mit anschließender Neutralisation durch *AH Temp* lieferte die niedrigsten Werte in Gruppe 1 (Gruppe 1B Mittelwert: 7,2 MPa). Das reine Interne Bleichen ohne Neutralisation lieferte ähnliche Haftwerte wie die Gruppe zuvor (Gruppe 1C Mittelwert: 8,08 MPa), wobei es keinen signifikanten Unterschied zwischen den letzten beiden Gruppen gab ( $p=0,364$ ).



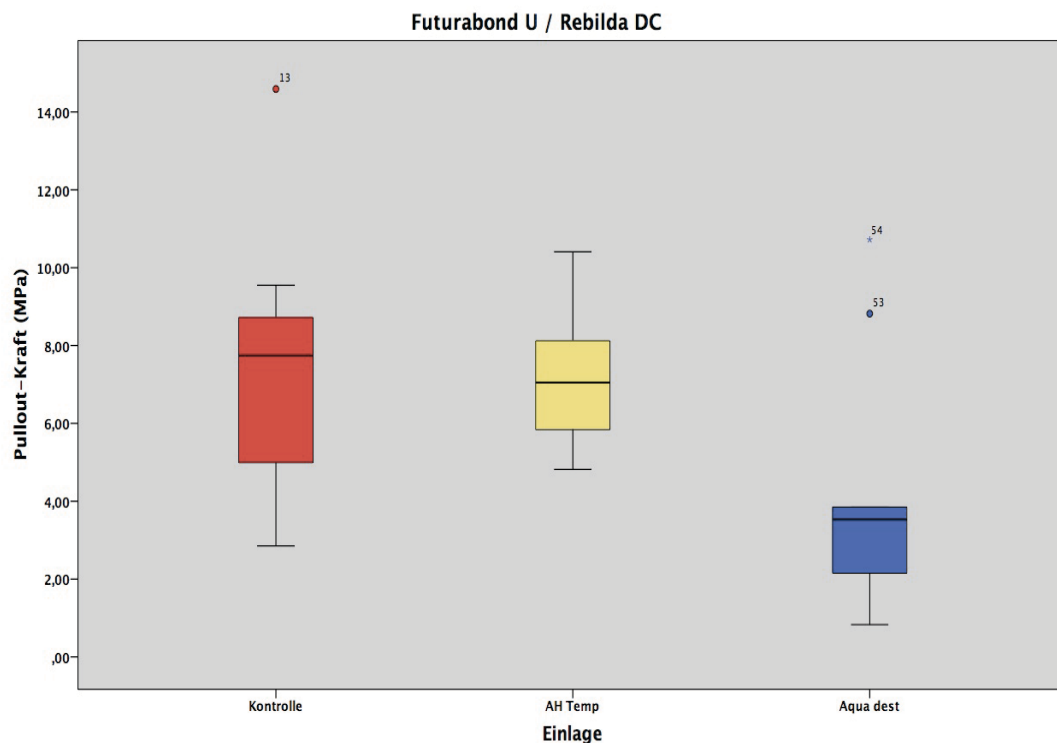
**Abb. 9:** Boxplotdiagramm zur Darstellung der Mittelwerte der Pull-Out-Kräfte in der Gruppe 1: *Bifix SE* in Abhängigkeit der verschiedenen Untergruppen.

Gruppe	Untergruppe	n	Mittelwert in MPa	SD	Median	Min.	Max.	Interquartilbereich
1A	Kontrolle	10	10,19	2,83	10,47	3,52	14,39	2,33
1B	AH Temp	10	7,20	3,75	7,01	2,92	15,17	4,66
1C	Aqua dest.	10	8,08	2,53	8,17	4,07	11,77	4,48

**Tab. 2:** Ergebnisse der Untergruppen zur Gruppe 1: *Bifix SE* mit dem Mittelwert der Pull-out-Kräfte sowie der Standardabweichung

#### 4.2 Ergebnisse der Pull-out-Kräfte in Gruppe 2: *Futurabond U / Rebilda DC*

In der Gruppe 2: *Futurabond U / Rebilda DC* führte das „Interne Bleichen“ ohne Neutralisation zu den niedrigsten Haftwerten der gesamten Versuchsreihe (Gruppe 2C Mittelwert: 4,12 MPa). Der Mann-Whitney-Test zeigte zwischen Gruppe 2C zu Gruppe 2A und 2B einen signifikanten Unterschied (2A zu 2C:  $p=0,028$  und 2B zu 2C:  $p=0,016$ ). Die höchsten Haftwerte erreicht die Kontrollgruppe (Gruppe 2A Mittelwert: 7,52 MPa) vor der Gruppe 2B (Mittelwert: 7,26 MPa), wobei sich dieser Unterschied nicht als signifikant herausstellte ( $p=0,821$ ).



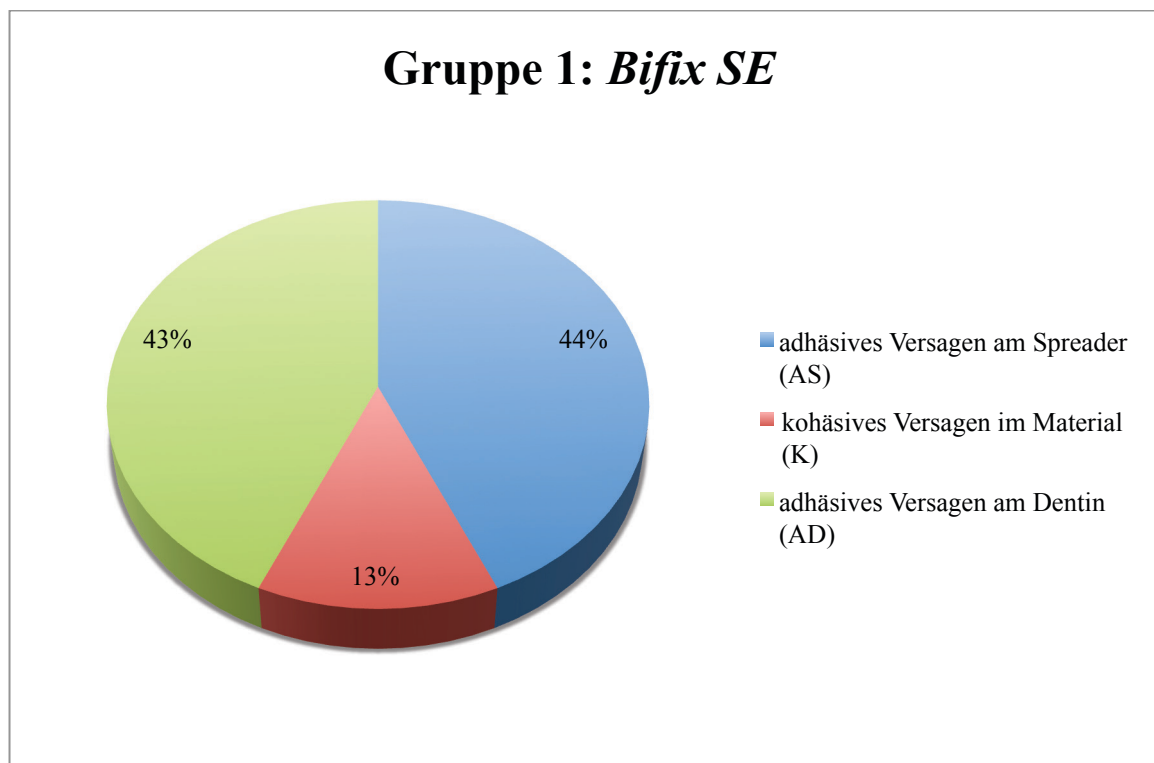
**Abb. 10:** Boxplotdiagramm zur Darstellung der Mittelwerte der Pull-out-Kräfte in der Gruppe 2: *Futurabond U / Rebilda DC* in Abhängigkeit der verschiedenen Untergruppen.

Gruppe	Untergruppe	n	Mittelwert in MPa	SD	Median	Min.	Max.	Interquartil- bereich
2A	Kontrolle	10	7,52	3,30	7,75	2,85	14,59	4,14
2B	AH Temp	10	7,26	1,86	7,05	4,82	10,41	2,93
2C	Aqua dest.	10	4,12	3,17	3,53	0,83	10,72	3,04

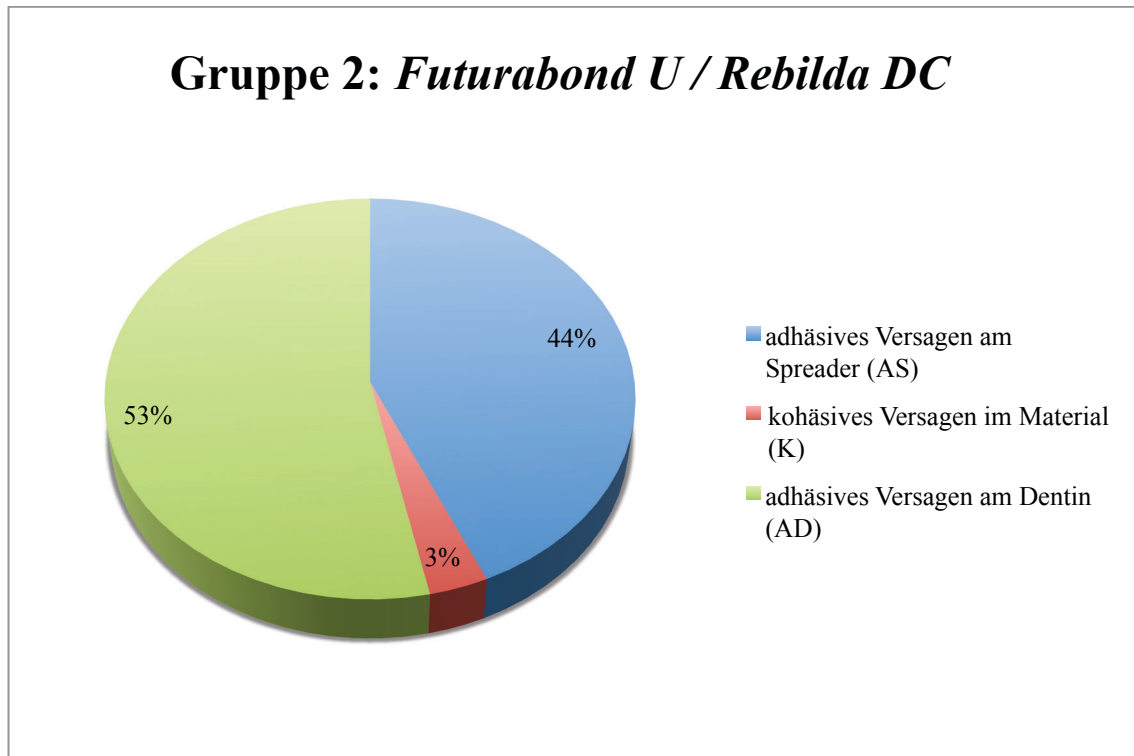
**Tab. 3:** Ergebnisse der Untergruppen zur Gruppe 2 *Futurabond U / Rebilda DC* mit dem Mittelwert der Pull-out-Kräfte sowie der Standardabweichung

### 4.3 Ergebnisse der Analyse der Frakturmodi

Die Analyse der Frakturmodi ergab sowohl in der Gruppe 1: *Bifix SE* als auch in der Gruppe 2: *Futurabond U / Rebilda DC* jeweils 100% gemischte Frakturen, da immer mindestens 2 Modi vorlagen. Um ein differenzierteres Bild zu erlangen, wurde deshalb der primäre vorherrschende Frakturmodus genauer betrachtet. Dabei zeigten die Gruppen 1 und 2 sehr ähnliche Häufigkeiten der einzelnen Modi (siehe Abb. 11 und Abb. 12).

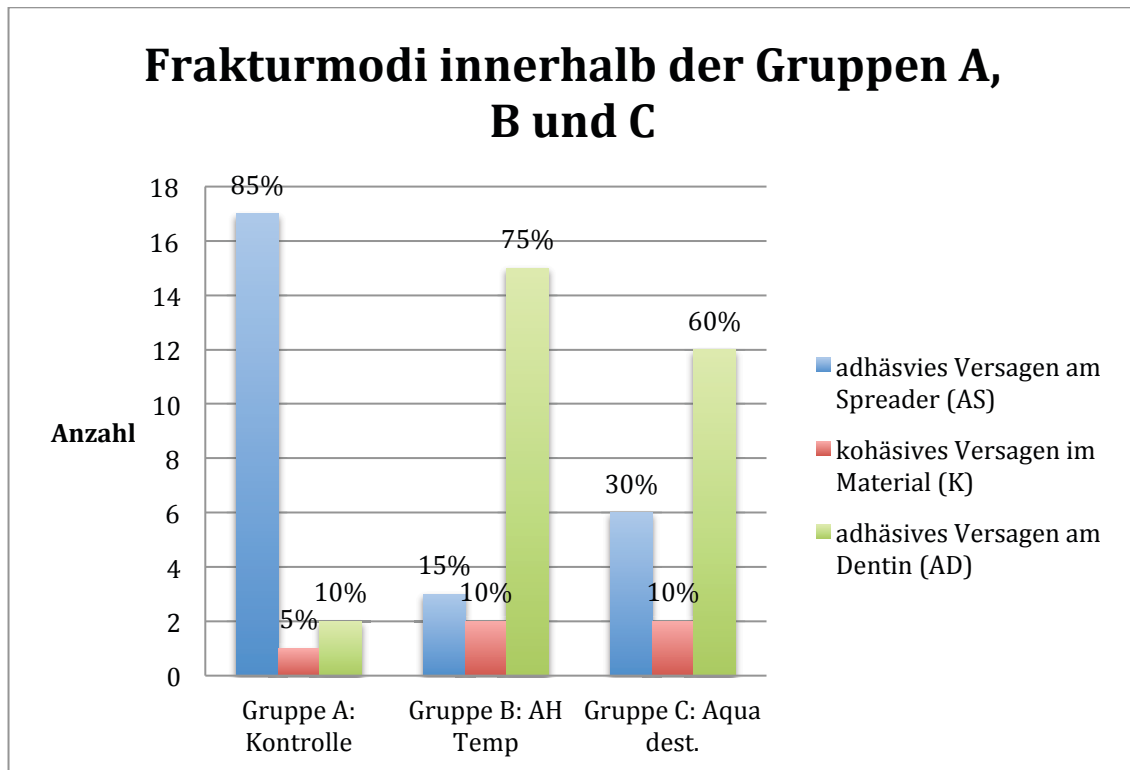


**Abb. 11:** Tortendiagramm zur Darstellung der prozentualen Verteilung der Frakturmodi in der Gruppe 1: *Bifix SE*.



**Abb. 12:** Tortendiagramm zur Darstellung der prozentualen Verteilung der Frakturmodi in der Gruppe 2: *Futurabond U / Rebilda DC*.

Eine genauere Betrachtung der primären Frakturmodi innerhalb der Untergruppen A, B und C zeigte, dass nahezu alle Frakturen in der Kontrollgruppe am Spreader zu finden waren (85% AS). In der Gruppe B verschob sich das Verhältnis zu Gunsten des adhäsiven Versagens am Dentin (75% AD). Das Bleichen ohne Neutralisation führte zu einem Versagen am Spreader von 30%, einem kohäsiven Versagen von 10% und mit 60% am häufigsten zu einem adhäsiven Versagen am Dentin.



**Abb. 13:** Säulendiagramm zur Darstellung der prozentualen Verteilung der Frakturmodi in den Untergruppen A, B und C

## 5 Diskussion

### 5.1 Diskussion der Methode

#### *Versuchsvorbereitung und Aufbewahrung der Zähne*

Um in dieser In-vitro-Studie möglichst nahe an die In-vivo-Verhältnisse heranzukommen, wurden humane Zähne der zweiten Dentition verwendet. Da es in der Praxis unmöglich ist, gleichaltrige Zähne zu sammeln, mussten Zähne verschiedenen Alters verwendet werden. Es wurde darauf geachtet, dass diese Zähne keinerlei Kariesbefall aufwiesen und nicht wurzelkanalbehandelt waren. Trotz dieser Eingrenzung ist es nicht auszuschließen, dass auf Grund der altersbedingten Veränderungen im Dentin wie die zunehmende Sklerosierung, die geringere Permeabilität, die Verengung der Tubuli oder Pigmenteinlagerungen, die Ergebnisse durch diese Faktoren beeinflusst sein könnten [17,22]. Um einen einheitlichen Referenzpunkt für die Wurzelkanalaufbereitung zu erreichen, wurden alle Zähne an der Schmelz-Zement -Grenze dekapitiert.

Die Lagerung in NaCl + 0,001% Natriumazid darf als unproblematisch angesehen werden. So hat NaCl keinerlei Einfluss auf den späteren Haftverbund [89]. Natriumperborat wurde als bakterizides Mittel in einer Konzentration von 0,001% hinzugegeben. Diese geringe Konzentration dürfte keinen Einfluss auf den Haftverbund haben, wenn gleich dies wissenschaftlich in keiner Studie untersucht oder beschrieben wurde. Um der Situation im Mund möglichst nahe zu kommen, wurden die Zähne in den Wartezeiten bei Dunkelheit mit 100%iger Luftfeuchtigkeit und einer Temperatur von 23°C gelagert. Dies sollte bei Vergleichen zu anderen Studien bedacht werden, ist aber innerhalb dieser Studie nicht relevant, da alle Zähne so behandelt wurden.

#### *Wurzelkanalaufbereitung*

Die Kanalaufbereitung wurde mit dem maschinellen *BioRaCe*-System durchgeführt, um eine gleichmäßige und ansatzlose Ausformung mit einem einheitlichen Konus zu gewährleisten, was bei manueller Aufbereitung so nicht möglich gewesen wäre. Anstelle der BR6-Feile (.04/#50) wurde die *FlexMaster* .02#50 eingesetzt. Dies war notwendig, da ansonsten koronal eine Inkongruenz zwischen Stiftkanal und Stift bestanden hätte, was zu einer unregelmäßigen Zementschicht geführt hätte. Um keine weiteren Einflussgrößen durch die Spülflüssigkeit bzw. dem Spülprotokoll zu erhalten, wurden die Kanäle während der Aufbereitung und auch in späteren Schritten mit Aqua



dest. gespült. Da Aqua dest. nicht gewebeauflösend wirkt, muss davon ausgegangen werden, dass möglicherweise Teile des Smear Layers in diesem Schritt nicht restlos entfernt wurden. Die Entfernung des Smear Layers wurde in dieser Studie durch den Einsatz des selbstadhäsiven *BifixSE* Befestigungskomposits und in der zweiten Gruppe durch das universal Adhäsiv *Futurabond U*, das selbstätzend ist, sichergestellt.

### *Internes Bleaching*

Das interne Bleaching wurde entsprechend dem aktuellen wissenschaftlichen Stand mit Natriumperborat durchgeführt [5]. Natriumperborat wird bevorzugt, da es risikoärmer in Bezug auf laterale Resorptionen ist, weil weniger  $H_2O_2$  durch die Dentintubuli diffundiert [168]. Beim Mischen mit Wasser, wie in dieser Versuchsanordnung durchgeführt, liegt auch der pH-Wert niedriger als beim Mischen mit  $H_2O_2$  [167]. Die Walking-Bleach-Technik setzt eine dichte apikale Wurzelfüllung voraus, damit der Bleichagent nicht zu lateralen Resorptionen führt [8]. Da es in dieser Studie aber lediglich um den Haftverbund ging, und die apikale Beschaffenheit keinen Einfluss darauf nimmt, konnte auf eine Wurzelfüllung wie auch auf einen zervikalen Verschluss verzichtet werden. Um die Studie praktisch realisierbar zu machen, musste der Kompromiss eingegangen werden, unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze zu bleichen. Dies steht im Widerspruch zu den Empfehlungen für devitale Zähne. Ein Bleichen unterhalb dieser Grenze geht mit dem Risiko der lateralen Wurzelresorption einher [148]. In der Praxis gibt es aber durchaus Fälle, in denen diese Regel verletzt werden kann. Dies ist beispielsweise bei parodontal geschädigten Zähnen oder bei Zähnen nach chirurgischer Kronenverlängerung der Fall. Hierbei beginnt das Parodont erst unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze. Diese Fälle dürften sich in Zukunft häufen, da die Parodontitis in Deutschland eine progriente Entwicklung besitzt [40]. In dieser Studie stand somit hauptsächlich das Wurzelentin als Zahnhartsubstanz zur Verfügung. Durch die Strukturunterschiede zwischen dem koronalen Dentin und dem Wurzelentin hat sich gezeigt, dass die Haftkraft Richtung apikal abnimmt [22,103]. Dies liegt an dem Aufbau des Wurzelkanaldentins, das in apikaler Richtung weniger Dentintubuli pro Fläche besitzt. Es ist davon auszugehen, dass ein höherer Anteil der Verankerung am koronalen Dentin zu höheren Haftwerten insgesamt führen würde. Die Tendenz der Ergebnisse wäre trotz einer größeren Haftung am koronal gelegenen Dentin übertragbar. Um während des Bleichvorgangs Einflüsse von koronal zu verhindern, wurde die Kavität mit *Fermit* verschlossen.

### *Neutralisation*

Um das saure pH-Milieu, das durch den Bleichvorgang entsteht, zu neutralisieren und um die Zeit bis zur definitiven Versorgung zu überbrücken, ist es in der Praxis gängige Methode, Calciumhydroxid als Zwischeneinlage in die Kavität einzubringen [6,25]. In der Gruppe B wurde dies für eine Woche praktiziert, um auch die Einflussgröße des Neutralisierens zu betrachten. Damit eine möglichst komplette und homogene Füllung des gesamten Kanals gewährleistet werden konnte, wurde das Calciumhydroxid mit Hilfe einer Kanüle appliziert. Zuvor wurde bei der Spülung des Kanals ein *EndoActivator* benutzt, um das Natriumperborat möglichst vollständig zu entfernen. Damit auch hier Einflüsse von koronal ausgeschlossen werden konnten, wurden die Stümpfe mit *Fermit* verschlossen. Die optimale Liegedauer der Einlage bzw. des Zeitraumes bis zur definitiven Versorgung wird in der Literatur mit zwei bis drei Wochen angegeben [25,138]. In der Praxis ist aber ein Zeitraum von einer Woche realistischer, der auch hier gewählt wurde. Eine verkürzte Liegedauer ist von Bedeutung für stark substanzgeschwächte Zähne, die auf Grund der Frakturgefahr möglichst schnell definitiv versorgt werden müssen [8,25,102].

### *Vorbereitung der Stahlspreader*

Für diese Studie wurden Stahlspreader nach dem Vorbild des Studiendesigns von Ebert. *et al.* [42] verwendet. Zwar nutzt man in der Praxis keine derartigen Spreader, um Zähne zu versorgen, sie haben für diese Studie allerdings erhebliche Vorteile:

So nimmt man jegliche Einflussgrößen von Stiftmaterial und Design heraus, die die Ergebnisse beeinträchtigen könnten, beispielsweise, wenn ein Glasfaserstift beim Pull-out Versuch frakturiert [48,150]. Es ist davon auszugehen, dass es zu anderen Haftwerten bei der Verwendung von Glasfaserstiften kommt, wie es die moderne Stiftversorgung vorsieht. Ob das Bleichen an sich aber eine Einflussgröße darstellt, kann unabhängig davon mit der hier verwendeten Methode besser überprüft werden. Die Spreader sind mit ihrer Größe ISO 55 etwas kleiner als der aufbereitete Kanal, so dass die Gefahr des Verkantens weniger groß ist. Es wurde auch dafür Sorge getragen, dass das Befestigungsmaterial sich möglichst dünn und gleichmäßig zwischen Dentin und Spreader verteilen kann. Mit absoluter Sicherheit kann man diese Verteilung allerdings nicht gewährleisten. Um die Haftung zum Befestigungskomposit möglich zu machen, wurden die Spreader tribochemisch mit dem *Rocatec*-System behandelt. Auf das Silanisieren wurde verzichtet, da die tribochemische Beschichtung und die dadurch

entstandenen Mikroretentionsmöglichkeiten für diesen Versuch ausreichend waren, was sich in anderen Studien gezeigt hat [3,62].

#### *Zementieren der Spreader*

Für das Zementieren der Spreader kamen *BifixSE* und *Futurabond U/Rebilda DC* zum Einsatz. Beide Befestigungskomposite sind für die Zementierung von Wurzelstiften zugelassen [49,130,161,162]. Vor dem Zementieren wurden Natriumperborat in Gruppe A und Calciumhydroxid in Gruppe B schallaktiviert herausgespült, um auch hier keine Reste der Materialien im Kanal zu belassen. Um möglichst den gesamten Spaltraum zwischen Dentin und Spreader zu füllen, wurden die Befestigungskomposite zunächst mit einem langsam laufenden Lentulo im Überschuss in den Kanal eingebracht, dann der Stift beschickt und dieser in den Kanal eingesetzt. Beide Materialien können dual aushärten [10,152]. Da es allerdings nicht exakt möglich ist, mit der Lichthärtung alle Bereiche gleichermaßen über die Versuchsreihen zu erfassen, wurden die Komposite rein chemisch zur Aushärtung gebracht. Somit war gewährleistet, dass die Materialien gleichmäßig im Spalt aushärten, ohne dabei ungleichmäßige Schrumpfungsspannungen auszulösen. Der Pull-out-Versuch erfolgte nach 3 Wochen Ruhezeit. So war sichergestellt, dass die Härtung komplett abgeschlossen war und für eine gewisse Zeit mundähnliche Parameter vorherrschten [161,162].

#### *Pull-Out-Versuch*

Für die Analyse von Haftverbunden zwischen Kompositen und Zahnhartsubstanzen gibt es eine Vielzahl von *In-vitro*-Testverfahren, welche im folgenden kurz dargestellt werden [38]:

##### *Shear Bond Strength (SBS):*

Auf einen eingebetteten Zahn wird ein Zylinder aus dem zu untersuchenden Material aufpolymerisiert und nach einer gewissen Lagerungszeit von der Seite abgeschert.

##### *Push-out-Verfahren*

Nach Füllung oder Zementierung eines Stiftes wird der Zahn in Scheiben geschnitten. Der Stift bzw. das Füllmaterial wird nun mit Hilfe eines Stößels

heraus gestoßen. Hierbei gelingt lediglich ein Rückschluss auf den speziellen Kanalabschnitt, der in der Scheibe liegt.

#### *Pull-out-Verfahren*

Bei dieser Versuchsanordnung wird auf einer ebenen Zahnfläche ein Zylinder des gewünschten Materials aufpolymerisiert und anschließend senkrecht nach oben hin abgezogen.

#### *Microtensile-Verfahren*

Auf einer planierten Zahnfläche wird ein Quader des gewünschten Komposites aufpolymerisiert. Daraufhin wird der Zahn in senkrecht verlaufende Scheiben geschnitten und am Übergang zwischen Zahnhartsubstanz und Komposit eine Sanduhrform präpariert. Danach erfolgt der Abzug in senkrechter Richtung.

Um die Haftwerte zu bestimmen, wurde auf den modifizierten Pull-out-Versuch nach Ebert. *et al.* zurückgegriffen [42]. Ein großer Vorteil dieser Methode ist die einfache Realisierbarkeit des Aufbaus und der Durchführung mit geringer Fehleranfälligkeit und wenigen Störgrößen. Zudem wird die volle Wurzelkanalfläche genutzt, wodurch die verschiedenen Dentinbeschaffenheiten mit einbezogen werden [22,103]. Dies kommt der Praxis näher als alle anderen möglichen Methoden zur Ermittlung der Haftkraft. Die Spreader wurden auf ISO 55 abgetrennt (Gutta Gauge) und danach mit Schmirgelpapier und Polieren angepasst, um eine Klemmpassung des Spreaders im Wurzelkanal als zusätzlichen Einflussfaktor zu vermeiden. Es wurde auch auf eine Einbettung der Zähne in Kunststoff oder Gips verzichtet, um ein mögliches Versagen dieser Schnittstelle zu umgehen. Das Widerlager wurde stattdessen durch ein U-förmig ausgelassenes Metallstück realisiert. Dadurch hing der Zahn, nach Einspannen des Spreaders in das Bohrfutter, in der Luft und es wurde keinerlei Spannung oder extraaxiale Belastung aufgebaut. Somit waren die Zähne nicht wie im Mund durch das Parodont körperlich gefasst und hätten theoretisch durch die Belastung gesprengt werden können. Da das Parodont klinisch allerdings keinen Schutz vor Längsfrakturen bildet und Zähne mit Stiften somit trotzdem brechen können, konnte auf die Simulation des Parodonts verzichtet werden. Beim Vorgang des Herausziehens kann allerdings nicht komplett ausgeschlossen werden, dass die Spreader sich verkanten. Ausreißer innerhalb der Gruppen könnten die Folge sein. Zur Berechnung der Scherhaftkraft war es neben den

nun ermittelten Haftwerte in N notwendig, die Haftfläche in  $mm^2$  zu kennen. Durch das standardisierte Versuchsdesign konnte man sicher sein, dass jeder Kanal gleich groß und tief aufbereitet war. Über die Formel der Kegelfläche:

$$A = \pi \times \sqrt{(r_1 - r_2)^2 + h^2} \times (r_1 + r_2)$$

erhält man für einen Radius  $r_1 = 0,38$  und  $r_2 = 0,3$  sowie einer Aufbereitungslänge von 8 mm einen Wert von ca.  $17,1 mm^2$ .

## 5.2 Diskussion der Ergebnisse

In der Gruppe 1 (Bifix SE) zeigten sich für die Kontrollgruppe nahezu dieselben Haftwerte wie in der Studie von Ebert *et al.*, in der verschiedene Befestigungskomposite untereinander verglichen wurden [42]. Zwischen der Kontrollgruppe und der *AH Temp* Gruppe gab es einen signifikanten Unterschied ( $p=0,034$ ). Zudem lagen die Werte für die *AH Temp*-Gruppe und die Aqua dest. Gruppe nahe beieinander und unterschieden sich nicht signifikant ( $p=0,364$ ). Somit lässt sich für das Material *Bifix SE* die Schlussfolgerung ziehen, dass das Bleichen an sich einen negativen Einfluss auf den Haftverbund hat. Der Einsatz von Calciumhydroxid hingegen scheint keinen signifikanten Einfluss zu haben, was sich mit den Angaben in der Literatur decken würde [36]. Eine mögliche Erklärung für die negative Beeinflussung durch das Bleichen könnte sein, dass sich durch diesen Vorgang die Dentinstruktur verändert. Die Literatur bestreitet dies für den Schmelz [129]. Für Dentin ist die Studienlage allerdings unbefriedigend. Wahrscheinlicher scheint zu sein, dass trotz Spülung geringe Reste von Natriumperborat oder Reaktionsrückstände im Dentin oder in den Dentinkanälchen verblieben sind und somit den Haftverbund stören. Hierzu finden sich in der Literatur passende Angaben: Rückstände von Peroxiden und Oxiden beeinträchtigen die Polymerisation zum Schmelz [39,160]. Ein ähnliches Verhalten am Dentin wäre somit vorstellbar.

Dass Bleichen die Haftkraft zum Dentin reduzieren kann, wurde zumindest für  $H_2O_2$  und Carbamidperoxid untersucht [156,157,159]. Für Natriumperborat, gemischt mit dest. Wasser, liefert diese Studie erste Ergebnisse. Die Vermutung, dass das Bleichen mit Natriumperborat, in dessen Reaktionsverlauf ja  $H_2O_2$  entsteht, die Haftwerte ebenfalls herabsetzt, ist somit zulässig, wenn auch nicht quantifizierbar.

In der Gruppe 2 (*Futurabond U + Rebilda DC*) zeigt sich für die Kontrollgruppe ein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe der Gruppe 1 ( $p=0,021$ ). Dieser Unterschied könnte zum einen materialabhängig sein, zum anderen könnte auch das Adhäsivsystem sensibler reagieren als das selbststützende *Bifix SE*. Das reine Bleichen führt in dieser Gruppe zu signifikant niedrigeren Haftwerten im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $p=0,028$ ). Die Gründe hierfür könnten die gleichen sein wie sie für die Gruppe 1 oben angeführt worden sind. Einen Unterschied zur Gruppe 1 hingegen ist bei der Betrachtung der Gruppe *AH Temp* festzustellen. Die Haftwerte hier liegen nahe an denen der Kontrollgruppe und sind signifikant höher als beim alleinigen Bleichen ( $p=0,016$ ). Es scheint, als habe der pH-Wert-Abfall durch das Bleichen hier einen größeren Einfluss auf das Befestigungskomposit und Adhäsivsysteme, als dies bei der *Bifix SE* Gruppe der Fall ist. Aufgrund der Neutralisation kann man davon ausgehen, dass das saure Milieu nicht mehr vorhanden ist und daher die Haftwerte nach Neutralisation nahezu denen der Kontrollgruppe entsprechen [6]. Dies würde auch den signifikanten Unterschied zwischen den beiden Aqua dest.-Gruppen erklären ( $p=0,006$ ).

Bei der Analyse der Frakturmodi stellt man fest, dass 100% der Frakturen auf den ersten Blick als gemischt bezeichnet werden müssen. Betrachtet man dies genauer, lässt sich aber immer ein vorherrschender Frakturmodus ausmachen, wenn gleich die Aussagekraft geringer ist als bei eindeutigen Modi. Die Betrachtung der Gruppen 1 und 2 liefern ähnliche Häufigkeiten zu den verschiedenen Frakturmodi, so dass der Schluss nahe liegt, dass die Befestigungskomposite in dieser Studie keinen großen Einfluss auf den Frakturmodus haben. Schaut man hingegen auf die Untergruppen, so gibt es einige Auffälligkeiten: Zunächst, dass in den Kontrollgruppen die überwiegende Mehrheit (85%) am Spreader frakturiert. Daraus resultiert, dass der Verbund zum Dentin stärker ist als der zum Spreader. In den Gruppen B und C, wo die Zähne gebleicht wurden, zeigt sich ein völlig anderes Bild. Hier ist der vorherrschende Modus das Versagen am Dentin (Gruppe B: 75%, Gruppe C: 60%). Dies unterstreicht die oben geführte Argumentation mit dem Ergebnis, dass das Bleichen einen negativen Einfluss auf den Haftverbund hat. Auch in der Studie von Ebert *et al.* wurden die Frakturmodi analysiert [42]. Dabei war der häufigste Grund für das Scheitern das kohäsive Versagen, das in dieser aktuellen Studie nicht nennenswert ins Gewicht fällt. Auch hier wird der Einfluss des Bleichens dafür verantwortlich gemacht.

### 5.3 Schlussfolgerungen und klinischer Ausblick

Diese Studie zeigt, dass sich die in der Literatur beschriebene Herabsetzung des Haftverbundes für  $H_2O_2$  und Carbamidperoxid auch für Natriumperborat zu bestätigen scheint. Jedoch ist das Ausmaß für die Reduzierung der Haftung bei den beiden verwendeten Befestigungskompositen unterschiedlich.

Das Bleichen mit Natriumperborat hat keinen Einfluss auf den Haftverbund zwischen Befestigungskomposit und Dentin.

*Diese Hypothese wird **abgelehnt**.*

Die Neutralisation des zuvor gebleichten Dentin mit Calciumhydroxid hat keinen negativen Einfluss auf den Haftverbund.

*Diese Hypothese wird **angenommen**.*

Die zweite Nullhypothese kann angenommen werden, da die Ergebnisse nach der Neutralisation in Gruppe A nicht signifikant schlechter sind und in Gruppe B sogar signifikant höhere Haftwerte erzielt wurden. Die Neutralisation scheint somit keinen negativen Effekt zu haben, je nach Befestigungskomposit sogar einen positiven.

Eine Aussage für die klinische Relevanz dieser Ergebnisse und die daraus resultierende Konsequenzen für die Praxis ist zu diesem Zeitpunkt nicht möglich. Die Ergebnisse hängen stark von den verwendeten Befestigungskompositen ab. Es müssten weitere Materialien untersucht werden, um hier eine eindeutige Aussage zu treffen.

Weiterhin sind die Ergebnisse für die Stiftzementierung nicht besonderes relevant, da man so tief im Stiftkanal selten bleicht. Für die Core-build-ups und normale Kompositrestaurationen ist diese Studie allerdings von Bedeutung. Der Spagat, der auf Grund der verwendeten Methodik nach Ebert *et al.* gemacht werden musste, resultierte darin, dass als Substrat das Wurzelkanaldentin herangezogen wurde. Um eine fundierte klinische Aussage zu treffen, wären auch Versuche mit anderen Testmethoden und Analyseverfahren wünschenswert, die das koronale Dentin mit einbeziehen.



## 6 Zusammenfassung

### 6.1 Zusammenfassung (deutsch)

Im ästhetisch wichtigen Bereich der Frontzähne kann es vor allem bei devitalen Zähnen zu Verfärbungen der Zahnhartsubstanz kommen, die mit Hilfe von Bleaching-Techniken wieder entfernt können werden [151]. Müssen diese gebleichten Zähne im weiteren Therapieverlauf restauriert werden, so wird je nach Zerstörungsgrad eine Füllungs- oder Stifttherapie notwendig. Dabei kommt es zur Interaktion zwischen der gebleachten Zahnhartsubstanz und dem Befestigungskomposit oder Füllungsmaterial.

Im Rahmen dieser Studie sollte geprüft werden, ob das „interne Bleaching“ mit Natriumperborat auf den späteren Haftverbund zwischen Zahn und Stift Einfluss hat. Des Weiteren galt es zu ermitteln, ob die Neutralisation mit einem Calciumhydroxidpräparat einen Einflussfaktor darstellt. Zu guter Letzt wurde der Frakturmodus zwischen Stift, Befestigungskomposit und Zahn analysiert.

60 extrahierte, einwurzelige Zähne mit geradem Kanalverlauf wurden auf Höhe der Schmelz-Zement-Grenze dekapitiert und gerade getrimmt. Der Wurzelkanal wurde maschinell mit dem *BioRaCe* System auf eine Länge von 8 mm und eine Größe von ISO 60 unter Spülung mit Aqua dest. aufbereitet. Die Zähne wurden nun randomisiert in zwei Gruppen (1: *Bifix SE* und 2: *Futurabond U/ Rebilda DC*) sowie in je drei Untergruppen (A-C) aufgeteilt. Die Untergruppen differenzierten sich wie folgt: Gruppe A: Kontrollgruppe, kein Bleaching und keine Neutralisation; Gruppe B: Bleachen mit Natriumperborat + Aqua dest. für eine Woche, danach eine weitere Woche Neutralisation mittels Calciumhydroxid; Gruppe C: Bleaching mit Natriumperborat + Aqua dest.. Nach einem Zeitraum von einer weiteren Woche wurde ein experimenteller Stahlspreader auf Größe ISO 55 angepasst und mit dem jeweiligen Befestigungszement der übergeordneten Gruppe zementiert. Die Befestigungs-materialien härteten rein chemisch aus. Nach einer Lagerung von drei Wochen bei 23°C und 100%iger Luftfeuchtigkeit wurden die Proben mittels eines Pull-out-Versuchs, abgeleitet von der Methode nach Ebert *et al.* [42], durch eine Universalprüfmaschine bis zum Versagen des Haftverbundes belastet. Makroaufnahmen der Stahlspreader zur Analyse der Frakturmodi wurden danach erstellt.



Die Haftwerte der Kontrollgruppen zwischen den beiden Befestigungskompositen unterschieden sich signifikant (1A: 10,19 MPa; 2A: 7,52 MPa;  $p=0,021$ ). Dies traf auch für die Aqua dest.-Gruppen zu (1C: 8,08 MPa; 2C: 4,12 MPa;  $p=0,006$ ). Betrachtet man die Gruppen 1 und 2 genauer, so führt das Bleaching mit anschließender Neutralisation in der Gruppe 1 zu signifikant geringeren Haftwerten als in der Kontrollgruppe (1A: 10,19 MPa; 1B: 7,2 MPa;  $p=0,034$ ). In der Gruppe 2 ergeben sich nach dem Bleaching ohne Neutralisation die geringsten Werte der gesamten Versuchsreihe, mit signifikantem Unterschied zur Kontrollgruppe und *AH Temp*-Gruppe (2A: 7,52 MPa; 2B: 7,26 MPa; 2C: 4,12 MPa;  $p(2A/2C)=0,028$ ;  $p(2B/2C)=0,016$ ).

Das interne Bleaching mit Natriumperborat hat einen negativen Einfluss auf den Haftverbund zwischen Dentin und den Befestigungskompositen *Bifix SE* und *Futurabond U/ Rebilda DC*. Der Einfluss fällt allerdings unterschiedlich groß aus. Das Neutralisieren mit Calciumhydroxid führt zu keinen signifikant schlechteren Ergebnissen, im Fall von *Futurabond U/ Rebilda DC* sogar zu verbesserten Haftwerten.

## 6.2 Abstract (English)

Focusing on the esthetic important region of the upper front teeth, especially at non-vital teeth, discoloration of the dental hard tissue may occur, which can be treated by bleach techniques [151]. If the bleached teeth need a further restoration during the therapy, a filling- or post-restoration depending on the destruction level will be necessary. At this time it comes to an interaction between the bleached dental hard tissue and the core build-up or post luting system.

The aim of this study was to check out if the “internal bleaching” with sodium perborate influences the bond between tooth and the luting composite. Furthermore it was necessary to determine if the neutralization with calcium hydroxide has an influential factor. To complete the analysis the fracture mode between post, luting composite and tooth was analyzed.

During the study 60 extracted, single root teeth with a straight root canal were decapitated at the cementoenamel junction and trimmed straight. The root canal was prepared with the mechanical *BioRaCe* System to a length of 8mm and a size of ISO 60 under irrigation with distilled water. The teeth were randomized and divided into two groups (1: *Bifix SE* and 2: *Futurabond U/ Rebilda DC*) as well as into three subgroups each (A-C). The subgroups differentiated as follow: Group A: Control group, no bleaching and no neutralization; Group B: Bleaching with sodium perborate + Aqua dest. for one week, following another week of neutralization with calcium hydroxide; Group C: Bleaching with sodium perborate + Aqua dest.. After a period of one more week an experimental steel spreader, adjusted to ISO 55, was cemented with the luting composite according to the main group. The luting materials hardened only chemically. After a storage of three weeks at 23°C and 100% humidity the samples were stressed by means of a pull-out method, derived from the method of Ebert *et al.* [42], by using a universal test machine until the failure of the bond. To analyze the failure mode macro shootings of the steel spreader were taken.

The bond strengths of the control groups between the two different luting composites showed significant differences (1A: 10,19 MPa; 2A: 7,52 MPa;  $p=0,021$ ). This also applies to the Aqua dest.-groups (1C: 8,08 MPa; 2C: 4,12 MPa;  $p=0,006$ ). If you

examine the groups 1 and 2, the bleaching with following neutralization in group 1 leads to significantly lower bond strengths compared to the control group (1A: 10,19 MPa; 1B: 7,2 MPa;  $p=0,034$ ). In group 2 the bleaching without neutralization results in the lowest results of the entire test series, with significant differences to the control group and the *AH Temp*-group (2A: 7,52 MPa; 2B: 7,26 MPa; 2C: 4,12 MPa;  $p(2A/2C)=0,028$ ;  $p(2B/2C)=0,016$ ).

The internal bleaching with sodium perborate has a negative influence to the bond strength between dentin and the luting composites *Bifix SE* and *Futurabond U/ Rebilda DC*. However, the amount of influence is different. The neutralization with calcium hydroxide does not lead to significantly lower results, using *Futurabond U/ Rebilda DC* has even a better bond strength.

## 7 Literaturverzeichnis

1. **Abou-Rass M:** Long-term prognosis of intentional endodontics and internal bleach- ing of tetracycline-stained teeth. Compendium of Continuing Education in Dentistry 19, 1034-1050 (1998)
2. **Akagawa Y, Ichikawa Y, Nikai H, Tsuru H:** Interface histology of unloaded and early loaded partially stabilized zirconia endosseous implant in initial bone healing. Journal of Prosthetic Dentistry 69, 599-604 (1993)
3. **Akgungor G, Sen D, Aydin M:** Influence of different surface treatments on the short-term bond strength and durability between a zirconia post and a composite resin core material. Journal of Prosthetic Dentistry 99, 388-399 (2008)
4. **Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T:** Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. Journal of Dentistry 27, 275-278 (1999)
5. **Attin T, Paque F, Ajam F, Lennon AM:** Review of the current status of tooth whitening with the walking bleach technique. International Endodontic Journal 36, 313-329 (2003)
6. **Attin T:** Internes Und Externes Bleichen von Zähnen - Eine Übersicht. Oralprophylaxe 24, 153-159 (2002)
7. **Baraban DJ:** The restoration of pulpless teeth. Dental Clinics of North America, 633-653 (1967)
8. **Baratieri LN, Ritter AV, Monteiro Jr S, Caldeira de Andrada MA, Vieira LCC:** Nonvital tooth bleaching: Guidelines for the clinician. Quintessence International 26, 597-608 (1995):
9. **Bartlett SO:** Construction of detached core crowns for pulpless teeth in only two sittings. The Journal of the American Dental Association 77, 843-845 (1968)
10. **Belli R, Pelka M, Petschelt A, Lohbauer U:** In vitro wear gap formation of self-adhesive resin cements: A CLSM evaluation. Journal of Dentistry 37, 984-993 (2009)
11. **Belli S, Cobankara FK, Eraslan O, Eskitascioglu G, Karbhari V:** The effect of fiber insertion on fracture resistance of endodontically treated molars with MOD cavity and reattached fractured lingual cusps. Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials 79B, 35-41 (2006)

12. **Belli S, Erdemir A, Ozcopur M, Eskitascioglu G:** The effect of fibre insertion on fracture resistance of root filled molar teeth with MOD preparations restored with composite. *International Endodontic Journal* 38, 73-80 (2005)
13. **Belli S, Erdemir A, Yildirim C:** Reinforcement effect of polyethylene fibre in root-filled teeth: comparison of two restoration techniques. *International Endodontic Journal* 39, 136-142 (2006)
14. **Blatz MB, Sadan A, Kern M:** Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *Journal of Prosthetic Dentistry* 89, 268-274 (2003)
15. **Brown G:** Factors influencing successful bleaching of the discolored root-filled tooth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology* 20, 238-244 (1965)
16. **Budavari S, O'Neil MJ, Smith A, Heckelman PE:** The Merck index: an encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals. Rahway, NJ: Merck and Co Inc, 1989.
17. **Bürklein S, Hülsmann M:** Zahnerhaltung bei älteren Patienten. Springer Verlag, 43-56 (2012)
18. **Butz F, Lennon AM, Heydecke G, Strub JR:** Survival rate and fracture strength of endodontically treated maxillary incisors with moderate defects restored with different post-and-core systems: an in vitro study. *The International Journal of Prosthodontics* 14, 58-64 (2001)
19. **Caputo AA, Standlee JP:** Pins and posts: why, when and how. *Dental Clinics of North America* 20, 299-311 (1976)
20. **Caputo AA, Standlee JP:** Restoration of endodontically involved teeth. *Biomechanics in clinical dentistry*, Quintessence Publishing Company, 185-203 (1987)
21. **Carossa S, Lombardo S, Pera P, Corsalini M, Rasteio ML, Preti G:** Influence of posts and cores on light transmission through different all-ceramic crowns: spectrophotometric and clinical evaluation. *The International Journal of Prosthodontics* 14, 9-14 (2001)
22. **Carrigan PJ, Morse DR, Furst ML, Sinai IH:** A scanning electron microscopic evaluation of human dentinal tubules according to age and location. *Journal of Endodontics* 10, 359-363 (1984)

23. **Carter JM, Sorenson SE, Johnson RR, Teitelbaum RL, Levine MS:** Punch shear testing of extracted vital and endodontically treated teeth. *Journal of Biomechanics* 16, 841– 848 (1983)
24. **Casey LJ, Schindler WG, Murata SM, Burgess JO:** The use of dentinal etching with endodontic bleaching procedures. *Journal of Endodontics* 15, 535–538 (1989)
25. **Cavalli V, Reis AF, Giannini M, Ambrosano GM:** The effect of elapsed time following bleaching on enamel bond strength of resin composite. *Operativ Dentistry* 26, 597-602 (2001)
26. **Chan FW, Harcourt JK, Brockhurst PJ:** The effect of post adaptation in the root canal on retention of posts cemented with various cements. *Australian Dental Journal* 38, 39-45 (1993)
27. **Chemie für Mediziner:** Wachter und Hausen 8. Auflage, de Gruyter Lehrbuch, 220-221
28. **Cheung W:** A review of the management of endodontically treated teeth. Post, core and the final restoration. *The Journal of the American Dental Association* 136, 611-619 (2005)
29. **Cohen BI, Pagnillo M, Newman I, Musikant BL, Deutsch AS:** Retention of four endodontic post cemented with composite resin. *General Dentistry* 48, 320-324 (2000)
30. **Cormier CJ, Burns DR, Moon P:** In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic, and conventional post systems at various stages of restoration. *The International Journal of Prosthodontics* 10, 26-36 (2001)
31. **Costas FL, Wong M:** Intracoronar isolating barriers: effect of location on root canal leakage and effectiveness of bleaching agents. *Journal of Endodontics* 17, 365–368 (1991)
32. **Cutbirth ST:** Indirect porcelain veneer technique for restoring intrinsically stained teeth. *Journal of Esthetic Dentistry* 4, 190-96 (1992)
33. **Cvek M, Lindvall AM:** External root resorption following bleaching of pulpless teeth with oxy- gen peroxide. *Endodontics & dental traumatology* 1, 56 (1985)
34. **de Rijk WG:** Removal of fiber posts from endodontically treated teeth. *American Journal of Dentistry* 13, 19B-21B (2000)
35. **Demarchi MGA, Sato EFL:** Leakage of interim post and cores used during

- laboratory fabrication of custom posts. *Journal of Endodontics* 28, 328-329 (2002)
36. **Demarco FF, Freitas JM, Siva MP, Justino LM:** Microleakage in endodontically treated teeth; influence of calcium hydroxide dressing following bleaching. *International Endodontic Journal* 34, 495-500 (2001)
37. **Demarco FF, Turbino ML, Jorge AG, Matson E:** Influence of bleaching on dentin bond strength. *American Journal of Dentistry* 11, 78-82 (1998)
38. **Die Adhäsivtechnologie Ein Leitfaden Für Theorie Und Praxis:** 3m Espe (2001)
39. **Dishman MV, Covey DA, Baughan LW:** The effects of peroxide bleaching on composite to enamel bond strength. *Dental Materials* 10, 33-36 (1994)
40. **DMS IV Studie:** Bundeszahnärztekammer (2006)
41. **Duke ES:** Advances in restorative core materials. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 21, 976-978 (2000)
42. **Ebert J, Leyer A, Günther O, Lohbauer U, Petschelt A, Frankenberger R, Roggendorf MJ:** Bond strength of adhesive cements to root canal dentin tested with a novel pull-out approach. *Journal of Endodontics* 37, 1558-1561 (2011)
43. **Edelhoff D, Spiekermann H:** Alles über moderne Stiftsysteme. *Zahnärztliche Mitteilung* 93, 819-827 (2003)
44. **Eichner K, Kappert HF:** Strukturen und Eigenschaften der Monomere und Oligomere. *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung*, Georg Thieme (2000)
45. **European Society of Endodontology:** Consensus report of the European Society of Endodontology on quality guidelines for endodontic treatment. *International Endodontic Journal* 27, 115-124 (1994)
46. **Farbatlas der Ästhetischen Zahnmedizin,** Thieme (2008)
47. **Feiglin B:** A 6-year recall study of clinically chemically bleached teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology* 63, 610-613 (1987)
48. **Fernandes AS, Shetty S, Coutinho I:** Factors determining post selection: a literature review. *Journal of Prosthetic Dentistry* 90, 556-562 (2003)
49. **Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJT:** Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations: Self-adhesive cements. *Journal of Oral Rehabilitation* 38, 295-314 (2011)

50. **Flötra L, Gjermo P, Rølla G, Waerhaug J:** Side effects of chlorhexidine mouth washes. *Scandinavian Journal of Dental Research* 79, 119-125 (1971)
51. **Foley J, Saunders E, Saunders WP:** Strength of core build-up materials in endodontically treated teeth. *American Journal of Dentistry* 10, 166-72 (1997)
52. **Fox K, Gutteridge DL:** An in vitro study of coronal microleakage in root canal treated teeth restored by the post and core technique. *International Endodontic Journal* 30, 361-368 (1997)
53. **Frankenberger R, Taschner M, Krämer N:** Poster at 86th IADR Toronto, Abstract 1749 (2008)
54. **Friedman S, Rotstein I, Libfeld H, Stabholz A, Heling I:** Incidence of external root resorption and esthetic results in 58 bleached pulpless teeth. *Endodontics & dental traumatology* 4, 23-26 (1988)
55. **Friedman S:** Internal bleaching: long-term out-comes and complications. *The Journal of the American Dental Association* 128, 51S-55S (1997)
56. **Frysh H, Bowles WH, Baker F, Rivera-Hidalgo F, Guillen G:** Effect of pH on hydrogen peroxide bleaching agents. *Journal of Esthetic Dentistry* 7, 130-133 (1995)
57. **Fuss Z, Szajkis S, Tagger M:** Tubular permeability to calcium hydroxide and to bleaching agents. *Journal of Endodontics* 15, 362-364 (1989)
58. **García-Godoy F, Dodge WW, Donohue M, O'Quinn JA:** Composite Resin Bond Strength after Enamel Bleaching. *Operative Dentistry* 18, 144-147 (1993)
59. **Gimlin DR, Schindler WG:** The management of post bleaching cervical resorption. *Journal of Endodontics* 16, 292-297 (1990)
60. **Glockner K, Ebelseder K, Städler P:** 3-Jahres Nachuntersuchung nach Internal-Bleaching. *Stomatologie* 93, 347 (1996)
61. **Goldstein RE, Garber DA:** Complete dental bleaching. Quintessence Publishing (1995)
62. **Gomes AL, Castillo-Oyagüe R, Lynch CD, Montero J, Albaladejo A:** Influence of sandblasting granulometry and resin cement composition on microtensile bond strength to zirconia ceramic for dental prosthetic frameworks. *Journal of Dentistry* 41, 31-41 (2013)
63. **Goon WWY, Cohen S, Borer RF:** External cervical root resorption following bleaching. *Journal of Endodontics* 12, 414-418 (1986)



64. **Gul T, Sener Y, Sengung A:** Effect of storage duration/solution on microshear bond strength of composite to enamel. *Journal of Dental Materials* 26, 116-121 (2007)
65. **Hägg G:** General and inorganic chemistry. Stockholm: Almqvist and Wiksell Förlag AB (1969)
66. **Haller B, Hofmann N, Klaiber B, Bloching U:** Effect of storage media on microleakage of five dentin bonding agents. *Dental Materials* 9, 191-197 (1993)
67. **Hattab FN, Qudeimat MA, Al-Rimawi HS:** Dental discoloration: An overview. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 11, 291-310 (1999)
68. **Heithersay GS:** Invasive cervical resorption. *Endodontics Topics* 7, 73–92 (2004)
69. **Helfer AR, Melnick S, Schilder H:** Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology* 34, 661-670 (1972)
70. **Hellwig E, Klimek J, Attin T:** Einführung in die Zahnerhaltung. Deutscher Zahnärzte Verlag Auflage 5, 419 (2009)
71. **Heydecke G, Butz F, Hussein A, Strub JR:** Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated teeth restored with different post-and-core systems. *Journal of Prosthetic Dentistry* 87, 438-445 (2002)
72. **Holm C, Tidehag G, Tillberg A, Molin M:** Longevity and quality of FPD's: a retrospective study of restorations 30, 20 and 10 years after insertion. *The International Journal of Prosthodontics*. 16, 283-289 (2003)
73. **Holmstrup G, Palm AM, Lambjerg-Hansen H:** Bleaching of discoloured root-filled teeth. *Dental Traumatology* 4, 197-201 (1988)
74. **Horn DJ, Hicks L, Bulan-Brady J:** Effect of smear layer removal on bleaching of human teeth in vitro. *Journal of Endodontics* 24, 791-795 (1988)
75. **Hosoya N, Cox CF, Arai T, Nakamura J:** The walking bleach procedure: an in vitro study to measure microleakage of five temporary sealing agents. *Journal of Endodontics* 26, 716-718 (2000)
76. **Howell RA:** Bleaching discoloured root-filled teeth. *British Dental Journal* 148, 159-162 (1980)
77. **Hurmuzlu F, Kiremitci A, Serper A, Altundasar E, Siso SH:** Fracture resistance of endodontically treated premolars restored with ormocer and packable composite. *Journal of Endodontics* 29, 838-840 (2003)

78. **Joiner A:** Tooth colour: A review of the literature. *Journal of Dentistry* 32, 3-12 (2004)
79. **Josey AL, Meyers IA, Romaniuk K, Symons AL:** The effect of a vital bleaching technique on enamel surface morphology and the bonding of composite resin to enamel. *Journal of Oral Rehabilitation* 23, 244-250 (1996)
80. **Joynt RB, Wiczowski G Jr, Klockowski R, Davis E:** Effects of composite restorations on resistance to cuspal fracture in posterior teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry* 57, 431-435 (1987)
81. **Kaelin D, Schärer P:** Aufbausysteme in der Kronen und Brückenprothetik. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin* 101, 457-63 (1991)
82. **Kehoe JC:** Ph reversal following in vitro bleaching of pulpless teeth *journal of endodontics* 13, 6-9 (1987)
83. **Kern M, Wegner SM:** Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dental Materials* 14, 64-71 (1998)
84. **Kinomoto Y, Carnes DL, Ebisu S:** Cytotoxicity of intracanal bleaching agents on periodontal ligament cells in vitro. *Journal of Endodontics* 27, 574 (2001)
85. **Knezevic A, Tarle Z, Meniga A, Sutalo J, Pichler G, Ristic M:** Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes. *Journal of Oral Rehabilitation* 28, 586-591 (2001)
86. **Koutayas SO, Kern M:** All-ceramic posts and cores: the state of the art. *Quintessence International* 30, 383-392 (1999)
87. **Kunzelmann KH, Pospiech P, Mehl A, Frankenberger R, Reiss B, Kern M:** Vollkeramik auf einen Blick, Eigenverlag AG Keramik (2006)
88. **Latcham NL:** Postbleaching cervical resorption. *Journal of Endodontics* 12, 262-264 (1986)
89. **Lee JJ, Nettey-Marbell A, Cook Jr A, Pimenta LA, Leonard R, Ritter AV:** Using extracted Teeth for research: The effect of storage medium and sterilization on dentin bond strengths. *Journal of the American Dental Association* 138, 1599-1603 (2007)
90. **Lewinstein I, Hirschfeld Z, Stabholz A, Rotstein I:** Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on the microhardness of human enamel and dentin. *Journal of Endodontics* 20, 61 (1994)
91. **Li Y:** Tooth bleaching using peroxide-containing agents: current status of safety issues. *Compendium of continuing education in dentistry* 19, 783 (1998)

92. **MacIsaac AM, Hoen MM:** Intracoronar bleaching: concerns and considerations. *Journal Canadian Dental Association* 60, 57-64 (1994)
93. **Madison S, Walton R:** Cervical root resorption following bleaching of endodontically treated teeth. *Journal of Endodontics* 16, 570 (1990)
94. **Mannocci F, Ferrari M, Watson TF:** Microleakage of endodontically treated teeth restored with fiber posts and composite cores after cyclic loading: a confocal microscopic study. *Journal of Prosthetic Dentistry* 85, 284-291 (2001)
95. **Manuel ST, Abhishek P, Kundabala M:** Etiology of tooth discoloration a review. *Nigerian Dental Journal* 18, 56-63 (2010)
96. **Martelli R:** Fourth-generation intraradicular posts for the aesthetic restoration of anterior teeth. *Practical Periodontics & Aesthetic Dentistry* 12, 579-584 (2000)
97. **Matinlinna JP, Lassila LV, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK:** An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *International Journal of Prosthodontics* 17, 155-164 (2004)
98. **McComb Dorothy:** Restoration of the endodontically treated tooth. Dispatch, Royal College of Dental Surgeons of Ontario (2014)
99. **McCormick JE, Weine FS, Magio JD:** Tissue pH of developing periapical lesions in dogs. *Journal of Endodontics* 9, 47 (1983)
100. **McInerney ST, Zillich R:** Evaluation of internal sealing ability of three materials. *Journal of Endodontics* 18, 376-378 (1992)
101. **Meyenberg KH, Luthy H, Scharer P:** Zirconia posts: a new all-ceramic concept for nonvital abutment teeth. *Journal of Esthetic Dentistry* 7, 73-80 (1995)
102. **Mezzomo E, Massa F, Libera SD:** Fracture resistance of teeth restored with two different post-and-core designs cemented with two different cements: an in vitro study, Part I. *Quintessence Int* 34, 301-306 (2003)
103. **Mjör IA, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F:** The structure of dentine in the apical region of human teeth. *International Endodontic Journal* 34, 346-353 (2001)
104. **Mobarak EH, El-Badrawy W, Pashley DH, Jamjoom H:** Effect of pretest storage conditions of extracted teeth on their dentin bond strengths. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 104, 92-97 (2010)
105. **Mondelli J, Steagall L, Ishikiriama A, de Lima Navarro MF, Soares F:** Fracture strength of human teeth with cavity preparations. *Journal of Prosthetic Dentistry* 43, 419-422 (1980)

106. **Morgano SM:** Restoration of pulpless teeth, application of traditional principles in present and future contexts. *Journal of Prosthetic Dentistry* 75, 375-380 (1996)
107. **Müller Arcari G, Araújo E, Baratieri LN, Lopes GC:** Microtensile bond strength of a nanofilled composite resin to human dentin after nonvital tooth bleaching. *The Journal of Adhesive Dentistry* 9, 333-340 (2007)
108. **Nergiz I, Schmage P, Platzner U, McMullan-Vogel CG:** Effect of different surface textures on retentive strength of tapered posts. *Journal of Prosthetic Dentistry* 78, 451-457 (1997)
109. **Nissan J, Dmitry Y, Assif D:** The use of reinforced composite resin cement as compensation for reduced post length. *Journal of Prosthetic Dentistry* 86, 304-308 (2001)
110. **Nutting EB, Poe GS:** A new combination for bleaching teeth. *Journal of the California Dental Association* 31, 289 (1963)
111. **Ozcan M, Vallittu PK:** Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cements to ceramic. *Dental Materials* 19, 725-731 (2003)
112. **Perdigão J, Lopes M:** Dentin bonding - questions for the new millennium. *The Journal of Adhesive Dentistry* 1, 191-209 (1999)
113. **Pierrisnard L, Bohin F, Renault P, Barquins M:** Corono-radicular reconstruction of pulpless teeth: A mechanical study using finite element analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 88, 442-448 (2002)
114. **Plotino G, Buono L, Grande NM, Pameijer CH, Somma F:** Nonvital tooth bleaching: A review of the literature and clinical procedures. *Journal of Endodontics* 34, 394-407 (2008)
115. **Reeh ES, Douglass WH, Messer HH:** Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *Journal of Endodontics* 15, 512-516 (1989)
116. **Reeh ES, Douglass WH, Messer HH:** Stiffness of endodontically treated teeth related to restorative techniques. *Journal of Dental Research* 68, 1540-1544 (1989)
117. **Reid LC, Kazemi RB, Meiers JC:** Effect of fatigue testing on core integrity and post microleakage of teeth restored with different post systems. *Journal of Endodontics* 29, 125-131 (2003)
118. **Reill MI, Rosentritt M, Naumann M, Handel G:** Influence of core material on fracture resistance and marginal adaptation of restored root filled teeth.

- International Endodontic Journal 41, 424-430 (2008)
119. **Ricketts DNJ, Tait CME, Higgins AJ:** Tooth preparation for post-retained restorations. British Dental Journal 198, 463-471 (2005)
  120. **Rosen H:** Operative procedures on mutilated endodontically treated teeth. Journal of Prosthetic Dentistry 11, 973-986 (1961)
  121. **Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ:** Dental luting agents: A review of the current literature. Journal of Prosthetic Dentistry 80, 280-301 (1988)
  122. **Rosentritt M, Fürer C, Behr M, Lang R, Handel G:** Comparison of in vitro fracture strength of metallic and tooth-coloured posts and cores. Journal of Oral Rehabilitation 27, 595-601 (2000)
  123. **Rotstein I, Dankner E, Goldman A, Heling I, Stabholz A, Zalkind M:** Histochemical analysis of dental hard tissues following bleaching. Journal of Endodontics 22, 23 (1996)
  124. **Rotstein I, Friedman S, Katznelson J, Sommer M, Bab I:** Histological characterization of bleaching-induced external root resorption in dogs. Journal of Endodontics 17, 436 (1991)
  125. **Rotstein I, Friedmann S:** pH variation among materials used for intracoronaral bleaching. Journal of Endodontics 17, 376 (1991)
  126. **Rotstein I, Mor C, Friedman S:** Prognosis of intracoronaral bleaching with sodium perborate preparations in vitro: 1-Year study. Journal of Endodontics 19, 10 (1993)
  127. **Rotstein I, Zyskind D, Lewinstein I, Bamberger N:** Effect of different protective base materials on hydrogen peroxide leakage during intracoronaral bleaching in vitro. Journal of Endodontics 18, 114-117 (1992)
  128. **Ruemping DR, Lund MR, Schnell RJ:** Retention of dowels subjected to tensile and torosional forces. Journal of Prosthetic Dentistry 41, 159-162 (1979)
  129. **Ruse ND, Smith DC, Torneck CD, Titley KC:** Preliminary surface analysis of etched, bleached, and normal bovine enamel. Journal of Dental Research 69, 1610-1613 (1990)
  130. **Rüttermann S, Alberts I, Raab WHM, Janda RR:** Physical properties of self-, dual-, and light-cured direct core materials. Clinical Oral Investigations 15, 597-603 (2011)

131. **Santos-Filho PCF, Verissimo C, Soares PV, Saltarelo RC, José Soares CJ, Martins LRM:** Influence of ferrule, post system, and length on biomechanical behavior of endodontically treated anterior teeth. *Journal of Endodontics* 40, 119-123 (2014)
132. **Saunders WP, Saunders EM:** Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: A review. *Dental Traumatology* 10, 105-108 (1994)
133. **Schmage P, Nergiz I, Sito F, Platzer U, Rosentritt M:** Wear and hardness of different core build-up materials. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* 91B, 71-79 (2009)
134. **Schönbrodt M, Schmage P, Nergiz I, Platzer U:** Haftfestigkeit zahnfarbener Wurzelstifte in Abhängigkeit von der Oberflächenbehandlung und dem Befestigungskomposit. *Deutsche Zahnärztliche Zeitung* 58, 55-59 (2003)
135. **Schwartz RS, Robbins JW:** Post placement and restauration of endodontically treated teeth: a literature review. *Journal of Endodontics* 30, 289-301 (2004)
136. **Sevük C, Gür H, Akkayan B:** Fabrication of one-piece all-ceramic coronal post and laminate veneer restoration: A clinical report. *Journal of Prosthetic Dentistry* 88, 565-568 (2002)
137. **Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE:** Fundamentals of fixed prosthodontics. 3rd ed., Quintessence Publishing, 194-204 (1997)
138. **Shinohara MS, Rodrigues A, Pimenta AF:** In-vitro microleakage of composite restorations after non-vital bleaching. *Quintessence International* 32, 413-417 (2001)
139. **Silverstein WH:** The reinforcement of weakened pulpless teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry* 14, 372-381 (1964)
140. **Sirimai S, Riis DN, Morgano SM:** An in vitro study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post-and-core- systems. *Journal of Prosthetic Dentistry* 81, 262–269 (1999)
141. **Smith JJ, Cunningham CJ, Montgomery S:** Cervical canal leakage after internal bleaching procedures. *Journal of Endodontics* 18, 476-481 (1992)
142. **Spyrides GM, Perdigao J, Pagani C, Araujo MA, Spyrides SM:** Effect of whitening agents on dentin bonding. *Journal of Esthetic Dentistry* 12, 264-270 (2000)
143. **Standlee JP, Caputo AA, Hanson EC:** Retention of endodontics dowels: Effects of cement, dowel length, diameter and design. *Journal of Prosthetic Dentistry*

- (1978)
144. **Standlee JP, Caputo AA, Holcomb J, Trabert KC:** The retentive and stress-distributing properties of a threaded endodontic dowel. *Journal of Prosthetic Dentistry* 44, 398-404 (1980)
  145. **Standlee JP, Caputo AA, Holcomb J:** The dentatus screw: comparative stress analysis with other endodontic dowel designs. *Journal of Oral Rehabilitation* 9, 23-33 (1982)
  146. **Standlee JP, Caputo AA:** Endodontic dowel retention with resinous cements. *Journal of Prosthetic Dentistry* 68, 913-917 (1992)
  147. **Steele A, Johnson BR:** In vivo fracture strength of endodontically treated premolars. *Journal of Endodontics* 25, 6-8 (1999)
  148. **Steiner DR, West JD:** A method to determine the location and shape of an intracoronary bleach barrier. *Journal of Endodontics* 20, 304-306 (1994)
  149. **Stern N, Hirschfeld Z:** Principles of preparing endodontic treated teeth for dowel and core restorations. *Journal of Prosthetic Dentistry* 30, 162-165 (1973)
  150. **Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M:** Curriculum Prothetik Band I, 2. Auflage. Quintessenz Verlag, 267-291 (1998)
  151. **Suliman AM:** An overview of tooth-bleaching techniques: Chemistry, safety and efficacy. *Periodontology* 2000 48, 148-69 (2008)
  152. **Tauböck TT, Feilzer AJ, Buchalla W, Kleverlaan CJ, Krejci I, Attin T:** Effect of modulated photo-activation on polymerization shrinkage behavior of dental restorative resin composites. *European Journal of Oral Sciences* 122, 293-302 (2014)
  153. **ten Bosch JJ, Coops JC:** Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *Journal of Dental Research* 74, 374-380 (1995)
  154. **Titely KC, R Chernecky, PE Rossouw, GV Kulkarni:** The effect of various storage methods and media on shear-bond strengths of dental composite resin to bovine dentine. *Archives of Oral Biology* 43, 305-311 (1998)
  155. **Titely KC, Torneck CD, Ruse ND:** Adhesion of a resin composite to bleached and unbleached human enamel. *Journal of Endodontics* 19, 112-115 (1993)
  156. **Titely KC, Torneck CD, Smith DC, Applebaum NB:** Adhesion of a glass ionomer cement to bleached and unbleached bovine dentin. *Endodontics & dental traumatology* 5, 132-138 (1989)
  157. **Toko T, Hisamitsu H:** Shear bond strength of composite resin to unbleached and



- bleached human dentine. Asian Journal of Aesthetic Dentistry 1, 33-36. (1993)
158. **Torbjörner A, Karlsson S, Odont Dr, Ödman PA:** Survival rate and failure characteristics for two post designs. The Journal of Prosthetic Dentistry 73, 439-444 (1995)
  159. **Torneck CD, Titley KC, Smith DC, Adibfar A:** Adhesion of light-cured composite resin to bleached and unbleached bovine dentin. Dental Traumatology 6, 97-103 (1990)
  160. **Torneck CD, Titley KC, Smith DC, Adibfar A:** The influence of time of hydrogen peroxide exposure on the adhesion of composite resin to bleached bovine enamel. Journal of Endodontics 16, 123-128 (1990)
  161. **Voco:** Gebrauchsanweisung Bifix SE.  
[http://www.voco.de/internet/ctry\\_DE/de/products/\\_products/bifix\\_se/GI-Bifix-SE.pdf](http://www.voco.de/internet/ctry_DE/de/products/_products/bifix_se/GI-Bifix-SE.pdf)
  162. **Voco:** Gebrauchsanweisung Rebilda DC.  
[http://www.voco.de/internet/ctry\\_DE/de/products/\\_products/rebilda\\_dc/GI-Rebilda-DC.pdf](http://www.voco.de/internet/ctry_DE/de/products/_products/rebilda_dc/GI-Rebilda-DC.pdf)
  163. **Voco:** Internal measurement.  
[http://www.voco.de/de/product/bifix\\_se/WI\\_DE\\_BifixSE\\_Haftung.pdf](http://www.voco.de/de/product/bifix_se/WI_DE_BifixSE_Haftung.pdf) (2008)
  164. **Walls AWG, Steele JG, Wassell RW:** Crowns and other extra-coronal restorations: porcelain laminate veneers. British Dental Journal 193, 73–82 (2002)
  165. **Watts A, Addy M:** Tooth discolouration and staining: A Review of the literature. British Dental Journal 190, 309–316 (2001)
  166. **Weiger R, Kuhn A, Löst C:** Effect of various types of sodium perborate used for intracoronal bleaching of discoloured teeth. Journal of Endodontics 20, 338 (1994)
  167. **Weiger R, Kuhn A, Löst C:** Effect of various types of sodium perborate on the pH of bleaching agents. Journal of Endodontics 19, 239 (1993)
  168. **Weiger R, Kuhn A, Löst C:** Radicular penetration of hydrogen peroxide during intracoronal bleaching with various forms of sodium perborate. The International Endodontic Journal 27, 313 (1994)
  169. **Weiger R:** Revision der Wurzelkanalbehandlung und adhäsiver Aufbau eines stark zerstörten Zahnes – Überlegungen und praktische Umsetzung. Endodontie 9, 21-27 (2000)



170. **Weine FS, Wax AH, Wenckus CS:** Retrospective study of tapered, smooth, post systems in place for 10 years or more. *Journal of Endodontics* 17, 293-297 (1991)
171. **Werkstoffkundesript:** Zahnklinik Universität Marburg
172. **Zalkind M, Arwaz JR, Goldman A, Rotstein I:** Surface morphology changes in human enamel, dentin and cementum following bleaching: A scanning electron microscopy study. *Dental Traumatology* 12, 82–88 (1996)
173. **Zillich RM, Corcoran JF:** Average maximum post lengths in endodontically treated teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry* 52, 489-491 (1984)

## 8 Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
Abb.	Abbildung
AD	adhäsives Versagen am Dentin
Aqua dest.	dest. destilliertes Wasser
AS	adhäsives Versagen am Spreader
Bis-GMA	Bisphenol-A-Glycidyl-Methacrylat
°C	Grad Celcius
ca.	circa
DDDMA	Decandioldimethacrylat
F	Kraft (von lat. <i>Fortitudo</i> )
Gly-DMA	Glycerol-dimethacrylat
GPa	Gigapascal
$H_2O_2$	Wasserstoffperoxid
$H_2O$	Wasser
ISO	International Organization for Standardization
K	kohäsives Versagen im Material
lat.	Lateinisch Sprache (lingua latina)
Max.	Maximum
min	Minute(n)
Min.	Minimum
mm	Millimeter
ml	Milliliter
MPa	Megapascal
MOD-Kavität	mesiale, okklusale und distale Kavität
N	Newton
NaCl	Natriumchlorid
Ni-Cr	Nickel-Chrom
nm	Nanometer
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
UDMA	Urethandimethacrylat
Vol%	Volumenprozent

## 9 Materialverzeichnis

<i>AH Temp</i>	Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland
Alkohol 70%	Hoffman & Sommer, Königsee, Deutschland
Aqua dest.	Zahnklinik Marburg, Universität Marburg
<i>Bifix SE</i>	Voco, Cuxhaven, Deutschland
<i>BioRace</i> -System	FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, Schweiz
Digitale Spiegelreflexkamera	Canon EOS 500D, Canon, Inc., Tokio, Japan
<i>C-Feilen ISO 15</i>	VDW, München, Deutschland
<i>EndoActivator</i>	Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland
<i>EndoPilot</i>	Schlumbohm, Brokstedt, Deutschland
Endospülkanülen	<i>VMK Endoneedle</i> Dr. Buquet
<i>Endo-Tim</i>	Voco, Cuxhaven, Deutschland
Eppendorfgefäß 1,5ml	Eppendorf AG, Hamburg, Deutschland
<i>Fermit</i>	Ivoclar-Vivadent, Schaan, Lichtenstein
<i>Futurabond U</i>	Voco, Cuxhaven, Deutschland
Diamant-Schleifer (Grünring)	Komet, Lemgo, Deutschland
Lentulo #25	Komet, Lemgo, Deutschland
Messlehre	Omnident, Rodgau, Deutschland
<i>M<sub>two</sub></i> #50 / 0.4	VDW, München, Deutschland
Natriumazidlösung	Zahnklinik Marburg, Universität Marburg
Natriumperborat	Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA
<i>Omnifix</i> 2ml Spritzen	B.Braun, Melsungen, Germany
Papierspitzen ISO 55	Roeko, Coltène/Whaledent, Langenau, Deutschland
Polymerisationslampe	Elipar, 3M Espe, Seefeld, Deutschland
<i>Rebilda DC</i>	Voco, Cuxhaven, Deutschland
<i>Rocatec</i> -System	3M Espe, Seefeld, Deutschland
Röntgengerät	Soredex, Helsinki, Finnland
rotes Winkelstück	KaVo, Biberach, Deutschland
Sandpapier	IC-Papier P#220, Struers, Dänemark
Scaler	Hu-Friedy, Chicago, IL, USA
Schleifscheibe	Wassermann, Hamburg, Deutschland
Spreader zum verdichten	VDW, München, Deutschland
<i>SPSS 22.0</i>	IBM Corp., Armonk, NY, USA

Stahl-Spreader	Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland
<i>Test Expert II</i>	Zwick/Materials Testing, Ulm, Deutschland
Trennscheibe	Komet, Lemgo, Deutschland
Trimmer	Wassermann, Hamburg, Deutschland
<i>Zwicki</i>	Zwick/Materials Testing, Ulm, Deutschland

Geschützte Eigennamen wurden im Text *kursiv* geschrieben.

## 10 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### 10.1 Abbildungen

Abb. 1: Reaktion Natriumperborat mit Wasser [125] .....	5
Abb. 2: Ferrule Design [98] .....	15
Abb. 3: Versuchsaufbau im Flowchart .....	20
Abb. 4: BioRaCe Feilen (Abb. FKG Dentaire SA) .....	22
Abb. 5: Skizze des Versuchsaufbaus, bei dem die Probe in die Universalprüfmaschine eingespannt ist, um die Scherkraft zu messen .....	25
Abb. 6: Versuchsaufbau Pullout .....	26
Abb. 7: Spreader Nr. 3 gemischter Frakturmodus, AS vorherrschend .....	27
Abb. 8: Boxplotdiagramm der gesamten Versuchsreihe zur Darstellung der Pull-out-Kraft der Befestigungskomposite Bifix SE und Futurabond U/ Rebilda DC in Abhängigkeit der verschiedenen Einlagen .....	28
Abb. 9: Boxplotdiagramm zur Darstellung der Mittelwerte der Pull-Out Kräfte in der Gruppe 1: Bifix SE in Abhängigkeit der verschiedenen Untergruppen .....	29
Abb. 10: Boxplotdiagramm zur Darstellung der Mittelwerte der Pull-out Kräfte in der Gruppe 2: <i>Futurabond U / Rebilda DC</i> in Abhängigkeit der verschiedenen Untergruppen. ....	30
Abb. 11: Tortendiagramm zur Darstellung der prozentualen Verteilung der Frakturmodi in der Gruppe 1: <i>Bifix SE</i> .....	31
Abb. 12: Tortendiagramm zur Darstellung der prozentualen Verteilung der Frakturmodi in der Gruppe 2: <i>Futurabond U / Rebilda DC</i> .....	32
Abb. 13: Säulendiagramm zur Darstellung der prozentualen Verteilung der Frakturmodi in den Untergruppen A, B und C .....	33

### 10.2 Tabellen

Tab. 1: Systemische Ursachen der Zahnverfärbung [165] .....	4
Tab. 2: Ergebnisse der Untergruppen zur Gruppe 1: <i>Bifix SE</i> mit dem Mittelwert der Pull-out-Kräfte sowie der Standardabweichung .....	30
Tab. 3: Ergebnisse der Untergruppen zur Gruppe 2 <i>Futurabond U / Rebilda DC</i> mit dem Mittelwert der Pull-out-Kräfte sowie der Standardabweichung .....	31

## **11 Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen Bedanken, die mich auf dem Weg der Dissertation unterstützt haben.

Zunächst gilt mein Dank meinem Doktorvater PD Dr. Matthias Roggendorf, für die Überlassung des Themas und der Arbeit, sowie die ständige Bereitschaft auf meine Fragen und Probleme einzugehen. In dieser Form ist dies bestimmt nicht selbstverständlich.

Die Möglichkeit nach dem Studium Zeit einzuräumen um diese Dissertation fertig zu stellen, dafür möchte ich mich bei meinen Eltern, Maria-Theresia und Ulrich Koberg bedanken. Ebenso für die ständige Unterstützung während des Studiums. Ohne euch wäre all dies so nicht möglich gewesen.

Zu guter Letzt meiner lieben Freundin Simone Dudda:

Danke für die Stütze, die du mir bist

## **12 Verzeichnis der akademischen Lehrer**

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren:

Arweiler, Braun, Cetin, Draenert, Feuser, Fischer, Frankenberger, Gente, Gloerfeld, Hellak, Himpel, Höffken, Kinscherf, Korbmacher-Steiner, Lill, Lotzmann, Mengel, Milani, Mittag, Moll, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Pieper, Ramaswamy, Richter, Roggendorf, Steiniger, Teymoortash, Weihe, Weber, Westermann, Wrocklage